

39-0456/1-001

~~14-0201/1-001~~

Gutacht 3

AMTLICHE MATERIALPRÜFANSTALT FÜR DAS BAUWESEN

beim INSTITUT FÜR BAUSTOFFE, MASSIVBAU UND BRANDSCHUTZ

ibmb

TU BRAUNSCHWEIG

Untersuchung und Beurteilung des Mauerwerks der Nordfassade des Pfingstberg Belvedere, Potsdam

BIBLIOTHEK

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
der Technischen Universität Braunschweig
Beethovenstraße 52
D-38106 Braunschweig

1. Zwischenbericht

Juni 1992

Bericht Nr. 8003/8404/1

Diese Arbeit wurde mit Mitteln des Bundesministers für Forschung und Technologie im Rahmen des Forschungsvorhabens BAU 7025 B "Tragstabilität und Mörtelerprobung" gefördert.

Inhalt

	Blatt
1. Veranlassung	3
2. Unterlagen	3
3. Beschreibung des Bauwerks und des Schadensbildes	4
4. Schadensbilder und Reparaturarbeiten der Vergangenheit	15
5. Untersuchungen am Mauerwerk der Nordfassade	17
5.1 Endoskopie (Natursteinschale)	17
5.2 Bohrkerne (Ziegelmauerwerk)	18
5.3 Analysen von Mörtel und Naturstein	18
6. Beurteilung des Mauerwerks der Nordfassade	23
6.1 Baustoffe	23
6.2 Mauerwerksgefüge	23
6.3 Tragfähigkeit der Natursteinschale	24
6.4 Schadensursache	30
6.5 Empfehlungen zum Sanierungskonzept	31
7. Hinweise für weitere Untersuchungen	33

Anlagen

■ Dokumentation Endoskopiebohrungen	Anlage 1 - 16
■ Dokumentation der Bohrkerne	Anlage 17 - 21
■ Analysen von Mörtel und Naturstein	Anlage 22 - 26
■ Abschätzung der Auflast der Natursteinschale	Anlage 27

Der vorliegende Bericht darf nur ungekürzt veröffentlicht oder vervielfältigt werden; eine auszugsweise Wiedergabe bedarf der vorherigen schriftlichen Einwilligung.

1. Veranlassung

Die Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen, Braunschweig, bearbeitet seit Januar 1992 das BMFT-Flankenprojekt "Tragstabilität und Mörtelerprobung". Schwerpunkte des Forschungsvorhabens bilden neben Laboruntersuchungen die Sondierung und Beurteilung von Mauerwerksgefügen an BMFT-Pilotobjekten.

Das Belvedere auf dem Pfingstberg in Potsdam wurde vom Deutschen Zentrum für Handwerk und Denkmalpflege, Arbeitsstelle Potsdam, zum Pilotobjekt für das Land Brandenburg erklärt. Entsprechend dem von der Amtlichen Materialprüfanstalt vertretenen Forschungsschwerpunkt "Natursteinmauerwerk" wurde als zu bearbeitende Objektpartie die Nordfassade des Belvedere ausgewählt. Das Arbeitsprogramm ist auf der ersten Basiskonferenz am 02. und 03.09.1991 mit der Arbeitsstelle Potsdam und den weiteren beteiligten Forschungsinstitutionen abgestimmt worden.

2. Unterlagen

Folgende Unterlagen zur Baugeschichte und zum Objektzustand standen uns zur Verfügung:

- /1/ Giersberg, H.-J.; Schendel, A.: Potsdam im Bild des 18. und 19. Jahrhunderts, Staatliche Schlösser und Gärten Potsdam-Sanssouci, 1970
- /2/ Dehio, G.: Handbuch der deutschen Kunstdenkmäler - Bezirke Berlin/DDR und Potsdam, Deutscher Kunstverlag München Berlin, 1983
- /3/ Brandenburgisches Landeshauptarchiv, Potsdam, PR. Br. Rep. 27, A. I Potsdam
- /4/ Brandenburgisches Landeshauptarchiv, Potsdam, Pr. Br. Rep. 27, A. I Potsdam, Nr. 118
- /5/ Brandenburgisches Landeshauptarchiv, Potsdam, Pr. Br. Rep. 27, A. I Potsdam, Nr. 97
- /6/ Schroedter, B.: Chronologie der Vor-/ Bau-/ Nutzungsgeschichte zum Belvedere auf dem Pfingstberg, Potsdam, 1991, Deutsches Zentrum für Handwerk und Denkmalpflege, Potsdam

- /7/ Mielke, F.: Potsdamer Baukunst, Propyläen Verlag, 1991
- /8/ Objektdokumentation, Deutsches Zentrum für Handwerk und Denkmalpflege, Potsdam, 1991
- /9/ Diverse Meßbilder der Nordfassade, Meßbildstelle Dresden, 1991
- /10/ Grundrisse Erdgeschoß und Obergeschoß, Deutsches Zentrum für Handwerk und Denkmalpflege, Potsdam
- /11/ Dörschlag, W.: Zum Tragverhalten von Zyklopenmauerwerk aus werkmäßig bearbeiteten Natursteinen, Diplomarbeit, Dezember 1991
- /12/ Koltzer, U.: Mündlicher Bericht über die 1988 - 1991 durchgeführten Arbeiten des "Förderverein Pfingstberg e.V."

3. Beschreibung des Bauwerks und des Schadensbildes

Baugeschichte

In den 40er Jahren des 19. Jahrhunderts entstanden unter Friedrich Wilhelm IV. die Pläne für einen Repräsentationsbau auf dem Pfingstberg in Potsdam im eklektizistischen Stil der Spätromantik. Hierbei handelte es sich um ein kastellartiges Bauwerk mit Doppelturmfront und einem vorgelagerten Loggienbau, zugleich Aussichtspunkt und Verkleidung eines Wasserbeckens, das als Reservoir für die Fontänen des neuen Gartens dienen sollte. Das in Bild 1 dargestellte Aquarell /1/ zeigt das geplante Bauwerk mit den hiermit kombinierten Gartenanlagen, wobei nur ein Teil des Bauwerks fertiggestellt wurde.

Das heute existierende Bauwerk "Belvedere auf dem Pfingstberg" ist in zwei Bauphasen entstanden. In der ersten Bauphase von 1849 bis 1852 entstanden die gewaltigen, durch Bogenstellungen gestützten Umfassungsmauern des oberen Hofes mit offenen Säulengängen und dem Bassin, überragt von der durch eine Kollonade und Aussichtsterrasse verbundenen Doppelturmanlage auf der nördlichen Seite des Bauwerks.

Nach einer längeren Unterbrechung wurde der Bau von 1860 bis 1863 nach einem neuen Entwurf notdürftig zum Abschluß gebracht. Es wurde lediglich die den oberen Hof einleitende Pfeilerhalle mit Kuppelgewölben versehen /2/. Das

tatsächlich erstellte und heute noch existierende Bauwerk ist auf Bild 2 dargestellt.

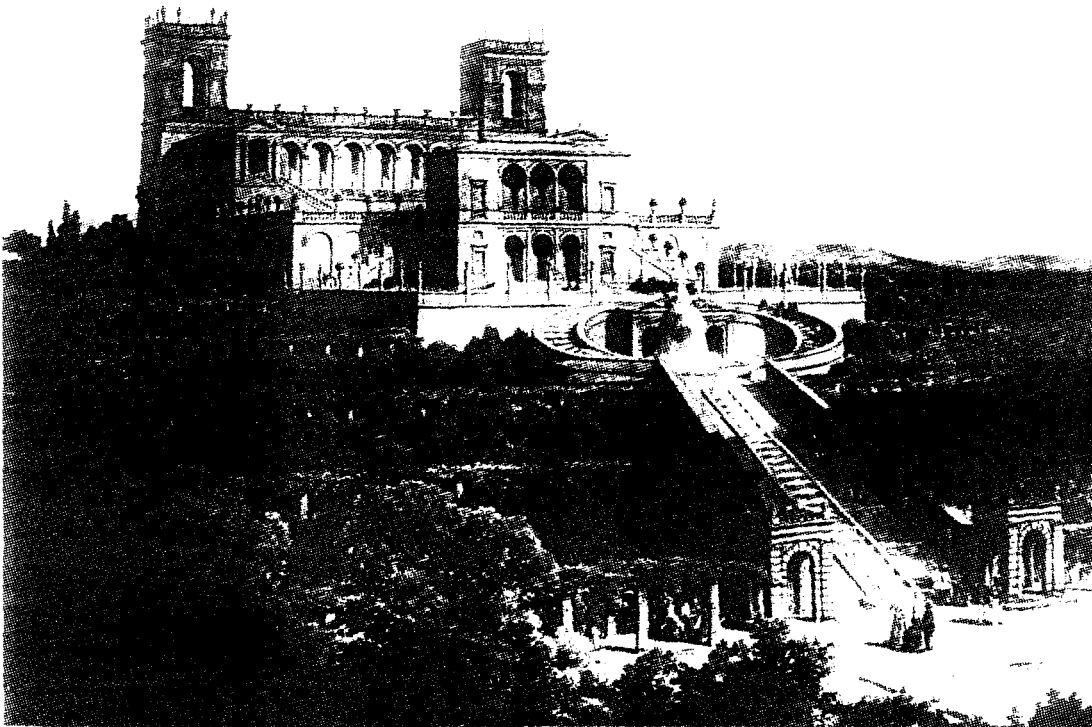


Bild 1: Von Friedrich Wilhelm IV. geplante Anlage auf dem Pfingstberg in Potsdam

Der heutige, ruinöse Zustand der Anlage hängt eng mit der Nutzung des Bauwerks zusammen. Geplant war es als architektonische Umrahmung eines Wasserreservoirs, das die Fontänen im Neuen Garten speisen sollte. Es sind weder Wohn- noch Nutzflächen vorhanden. Da auch die geplanten Fontänen nie ausgeführt wurden, fand eine den Bauzustand erhaltende Nutzung nie statt. Seit Ende des Krieges ist das Gebäude verwahrlost und durch Vandalismus so stark beschädigt, daß es baupolizeilich gesperrt werden mußte.



Bild 2: Belvedere auf dem Pfingstberg (Südfront), Potsdam

Bild 3: Überlieferter Grundriß des Belvedere auf dem Pfingstberg

Beschreibung des Bauwerks

Das Belvedere auf dem Pfingstberg bei Potsdam ist ein kastellartiges Bauwerk. Etwa 10 Meter hohe, nach außen geböschte Mauern mit rundbogigen Arkaden flankieren nach Osten, Westen und Norden einen nahezu quadratischen Innenhof, der nach Süden durch eine von Säulen getragene Vorhalle und Treppenaufgängen seinen offenen Abschluß findet. Zwei massive Ecktürme begrenzen die Nordfront. Ein offener, über den Außenmauern befindlicher Terrassengang bietet neben der noch darüberliegenden Aussichtsplattform der Nordfront einen Überblick über die gesamte Potsdamer Landschaft. Bild 3 zeigt einen überlieferten Grundriß des Belvedere auf dem Pfingstberg.

Gegenstand der nachfolgenden Untersuchungen ist die Nordfassade des Belvedere.

Die Nordfassade besteht aus einer ca. 10 m hohen, mehrschaligen Natursteinwand, auf die sich die Pfeiler des offenen Bogenganges stützen.

Bild 4: Ansicht der Nordfassade

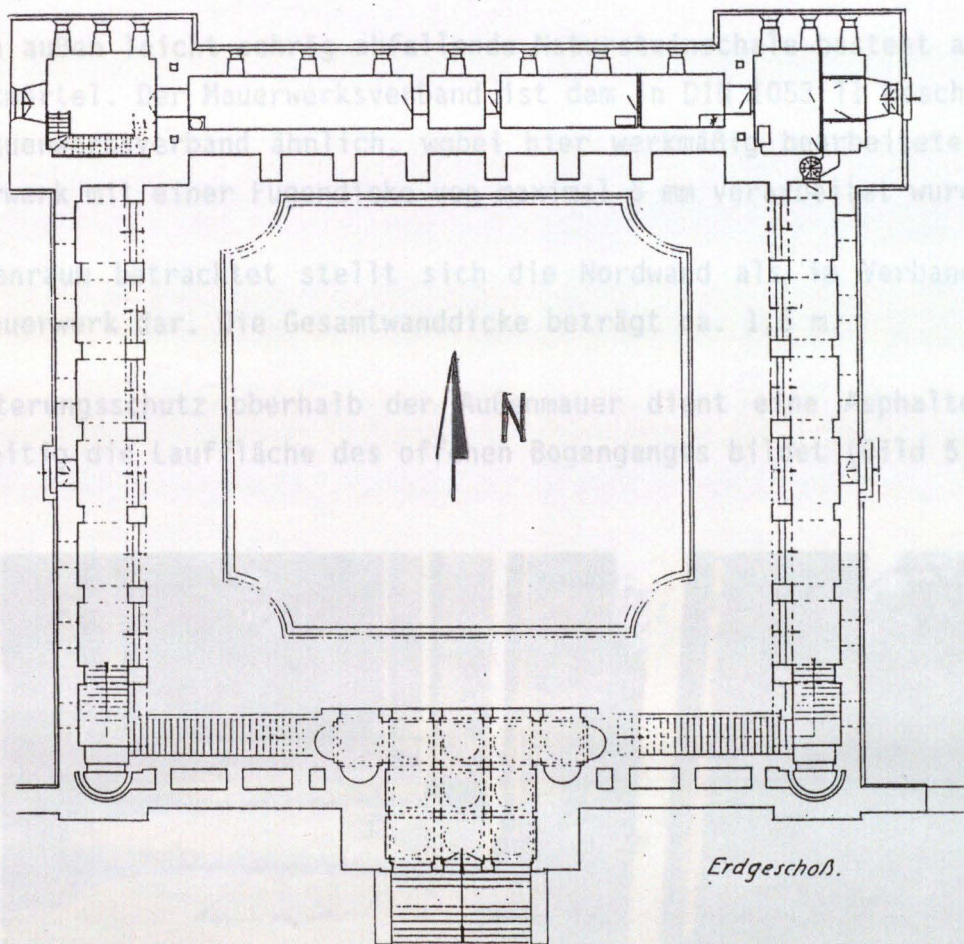


Bild 3: Überlieferter Grundriß des Belvedere auf dem Pfingstberg



Bild 4: Ansicht der Nordfassade

Die nach außen leicht schräg abfallende Natursteinschale besteht aus Kalkstein und Kalkmörtel. Der Mauerwerksverband ist dem in DIN 1053 T1 beschriebenen Zyklopenmauerwerksverband ähnlich, wobei hier werkmäßig bearbeitete Natursteine zu Mauerwerk mit einer Fugendicke von maximal 5 mm verarbeitet wurden.

Vom Innenraum betrachtet stellt sich die Nordwand als im Verband gemauertes Ziegelmauerwerk dar. Die Gesamtwanddicke beträgt ca. 1,5 m.

Als Witterungsschutz oberhalb der Außenmauer dient eine Asphaltdeckung, die gleichzeitig die Lauffläche des offenen Bogenganges bildet (Bild 5).



Bild 5: Asphaltdeckung des offenen Bogenganges der Nordfassade

Beschreibung des Schadensbildes

An der Nordfassade ist eine ca. 2 m² große Fläche der Natursteinschale aus dem Verband herausgefallen.

Im Wandausbruch ist eine deutliche Trennlinie im Füllmauerwerk sichtbar: Im östlichen und oberen Bereich der Ausbruchstelle steht als Füllmauerwerk ein geschichtetes Ziegelmauerwerk an, im westlichen Bereich ein regelloses Natursteinmauerwerk. Ferner ist im Bereich des Ziegelmauerwerks ein korrodierter Eisenanker zu erkennen (Bild 7).



Bild 6: Ausbruch der Natursteinschale

Bild 7: Detail - Verankerung, Füllmauerwerk

Während am östlichen Rand der Ausbruchstelle der Verband zwischen Natursteinschale und Füllmauerwerk offensichtlich intakt ist (Bild 8), hat sich am westlichen Rand auf ganzer Höhe ein Spalt von ca. 20 cm gebildet. Westlich der Ausbruchstelle hat sich eine ca. 20 m² große Fläche der Natursteinschale schalenförmig ausgebeult. Die maximale Ausbeulung beträgt derzeit ca. 13,7 cm /9/. Der Steinverband ist in diesem Bereich intakt, klaffende Fugen sind nicht festzustellen.

Oberhalb der Ausbruchstelle ist der Verband der Natursteinschale zerstört. Es zeichnen sich klaffende Fugen ab, die Steine scheinen locker zu sitzen (Bild 10 und 11). Eine Ausbeulung ist hingegen nicht festzustellen.



Bild 8: Ausbruchsstelle, Blick nach Osten



Bild 9: Ausbruchsstelle, Blick nach Westen

Ferner ist auf Bild 10 zu erkennen, daß das mit Ziegeln ausgeführte Füllmauerwerk Bindersteine aufweist (Pfeile) und insgesamt stärker aufträgt als das Natursteinfüllmauerwerk.

Neben den genannten, auf den Randbereich der Ausbruchsstelle konzentrierten Schäden sind weitere Bereiche festzustellen, an denen einzelne Natursteine aus dem Verband heraustreten. Diese örtlichen Verformungen betreffen meist eine Fläche von ca. 1 bis 2 m² und sind durch aus dem Mauerwerk heraustretenden Pflanzenwuchs gekennzeichnet. Die Bilder 12 und 13 zeigen hierfür ein Beispiel.

Bild 11: Zerstörter Steinverband oberhalb Ausbruchsstelle



Bild 10: Ausbruchstelle, Blick nach oben



Bild 11: Zerstörter Steinverband oberhalb Ausbruchstelle



Bild 12: Aus dem Verband heraustretende Natursteine und Pflanzenbewuchs



Bild 13: Detail von Bild 12, durchfeuchtetes Ziegelfüllmauerwerk

Die Kartierung der beschriebenen Schadensbilder zeigen die Bilder 14 und 15. Bild 16 zeigt einen Schnitt durch die verformte Natursteinschale westlich der Ausbruchsstelle.

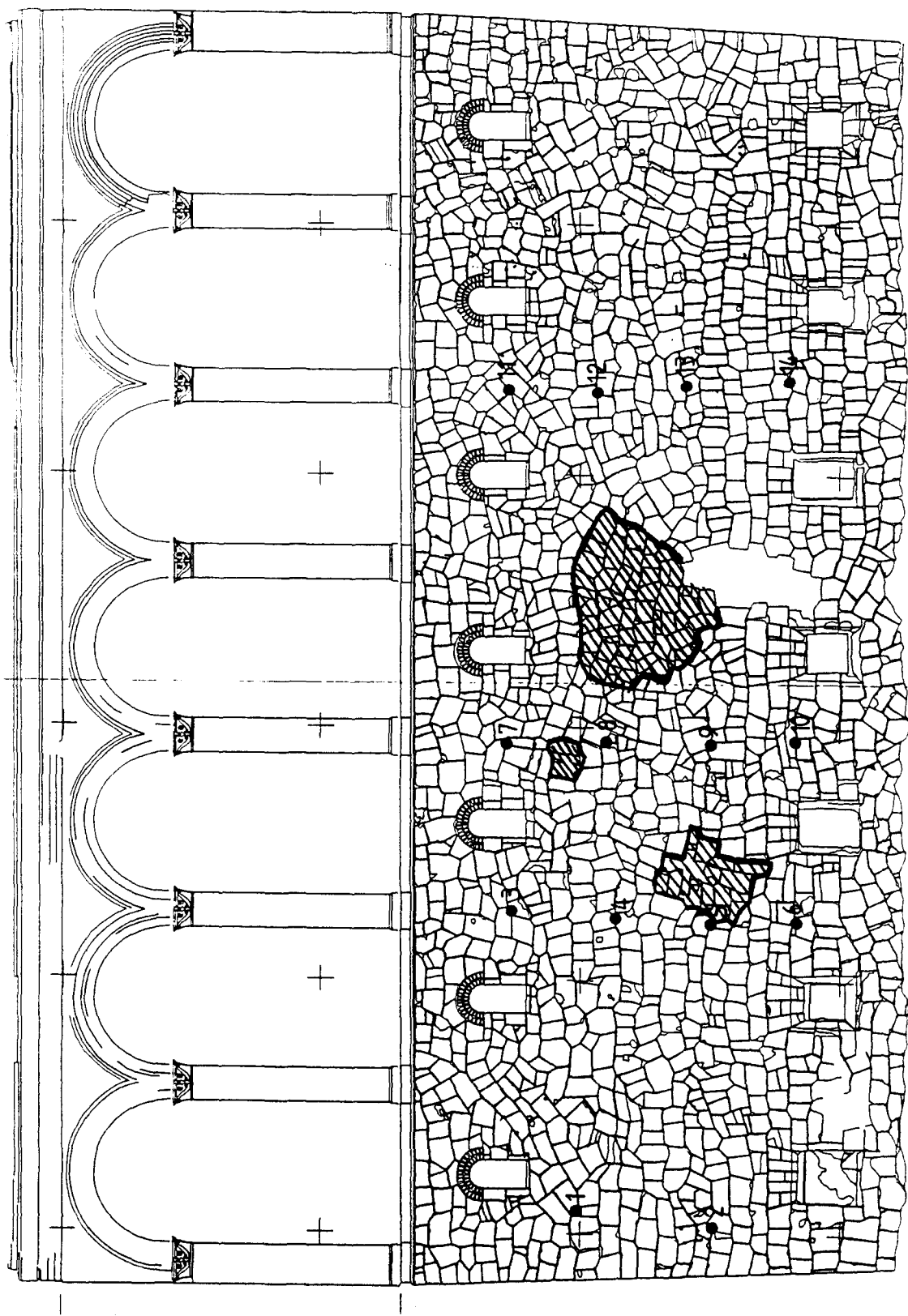


Bild 14: Wandbereiche, in denen der Steinverband gestört ist

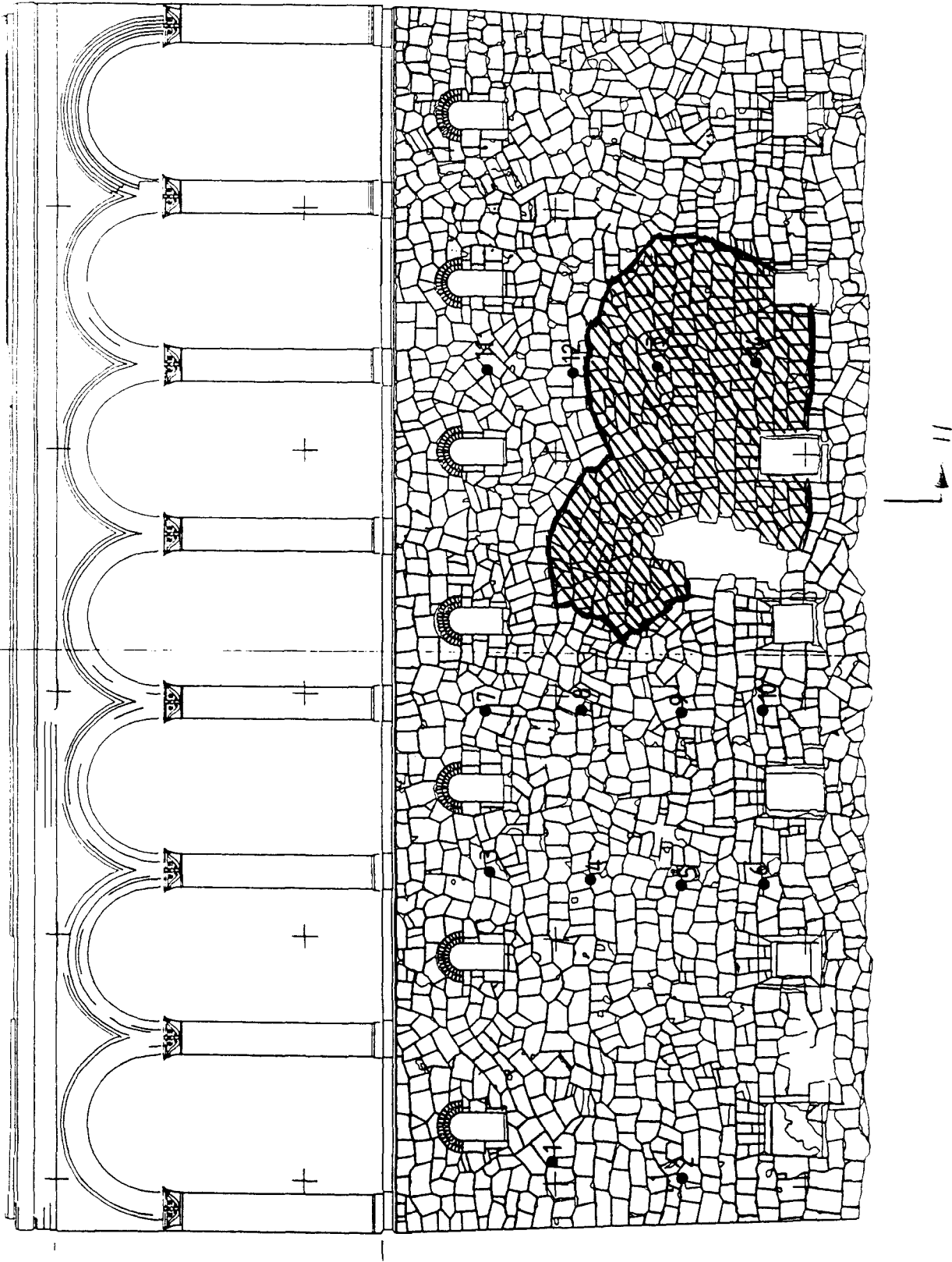


Bild 15: Abgelöste bzw. ausgebeulte Wandbereiche

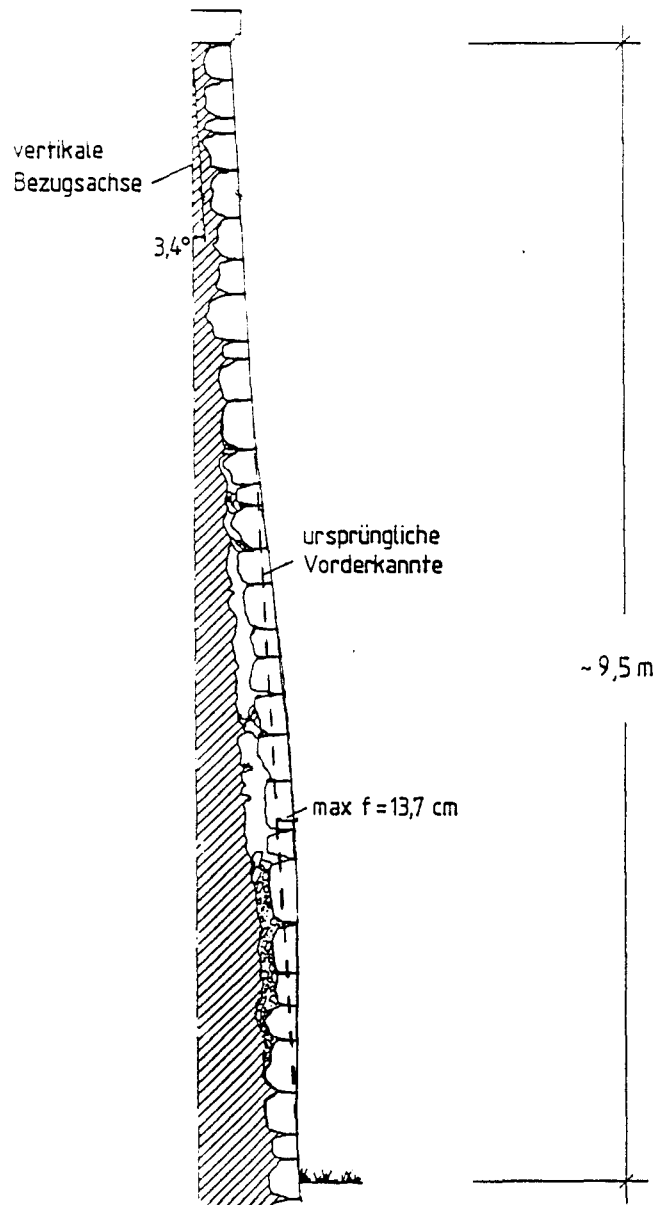


Bild 16: Schnitt durch die verformte Natursteinschale (siehe Bild 15, Schnitt A-A)

4. Schadensbilder und Reparaturarbeiten der Vergangenheit

Aus einer Chronologie zum Belvedere auf dem Pfingstberg bei Potsdam /6/ geht hervor, daß in der Vergangenheit zahlreiche Feuchteschäden am Bauwerk aufgetreten sind.

So wird unter anderem von Feuchtigkeit im "Römischen Zimmer" des westlichen Turmes (1883) berichtet, was auf eine verwitterte Verblendung der Außenfläche

zurückgeführt wurde. Im Winter 1884/85 erfolgte daraufhin der Einbau von Luftzügen in der Südwestwand. Ein Vorschlag zur Feuchtigkeitsisolierung im "Römischen Zimmer" vom Juni 1885 läßt darauf schließen, daß das Feuchtigkeitsproblem zu diesem Zeitpunkt noch nicht behoben war.

Zum Anfang des 20. Jahrhunderts (Mai 1901) wird von wiederholten Wasserschäden an der Nordfront berichtet. Noch im Jahre 1901 folgten Instandsetzungsarbeiten am Westturm, die Ende Oktober 1901 beendet wurden. Im Jahre 1903 wird von Maurerarbeiten zur äußeren und inneren Instandsetzung des östlichen Turmes berichtet.

Der Chronologie /3/ ist auch ein Regenwasserschaden an der Nordfront von 1926 zu entnehmen. Dabei wurde erwähnt, daß der größere Teil des Zyklopenmauerwerks abgelöst sei. Ferner ist Feuchtigkeit an der Wandinnenseite des Untergeschosses aufgetreten. Über den Schaden an der Nordfront von 1926 wird in /4/ berichtet, daß sich "der größere Teil des aus Kalksteinen hergestellten Zyklopenmauerwerks, mit welchem das eigentliche Kernmauerwerk der Frontwand verblendet ist, von diesem abgelöst hat und herabzustürzen droht. In den Zwischenraum ist Wasser eingedrungen und hat das Kernmauerwerk auch an den Wohnräumen im Untergeschoß beschädigt. Das Zyklopenmauerwerk muß größtenteils abgetragen und neu ausgeführt werden. An den weniger gefährdeten Stellen wird vielleicht mit einer geeigneten Verankerung auszukommen sein".

Zu den Instandsetzungsarbeiten weist eine undatierte Rechnung /5/, die zwischen Februar und Juli 1930 einsortiert war, unter anderem folgende Positionen aus: ca. 60 m² Asphalt abstemmen und Estrich erstellen, ca. 17 m³ altes Verblendmauerwerk abbrechen und neues Verblendmauerwerk herstellen, ca. 30 lfm Sandsteingesims mit Ballustern abnehmen und wieder versetzen.

Aus den Angaben kann näherungsweise auf die Flächengröße des 1930 instandgesetzten Kalkstein-Verblendmauerwerks geschlossen werden: Bei einer angenommenen Verblendmauerwerkstärke von ca. 35 cm ergibt sich eine neu erstellte Wandfläche von 50 m². Es konnte nicht festgestellt werden, ob es sich hierbei um eine zusammenhängende Instandsetzungsfläche oder mehrere Einzelflächen handelte. Auch eine Lokalisierung der schadhaften Verblendmauerwerksflächen war nicht möglich.

Zum Schadensbild von 1930 gehörte ferner, daß offensichtlich größere Flächenanteile der Abdichtung (Asphalt) oberhalb der massiven, mehrschaligen Außenwand undicht waren.

Über derartige Dichtigkeitsprobleme wurde auch in der Chronologie /6/ bezüglich der südlichen Eingangshalle berichtet. Hierbei wurden große Risse im Asphaltbelag erwähnt, so daß Regenwasser relativ ungehindert in das Mauerwerk eindringen konnte.

Die letzten Hinweise auf Instandsetzungsarbeiten am Belvedere auf dem Pfingstberg, über die in überlieferten Schriften berichtet wird, führen zurück ins Jahr 1942. Der beginnende Verfall des Bauwerks läßt sich also auf die darauffolgenden Jahre datieren.

Bei ehrenamtlichen Arbeitseinsätzen einer Anfang 1988 gegründeten Arbeitsgemeinschaft, die sich dem Erhalt und der Instandsetzung des Belvedere auf dem Pfingstberg gewidmet hat, wurde unter anderem im Herbst 1988 eine neue Abdichtung der Lauffläche des offenen Bogenganges an der Nordfront aufgebracht. Die alte Abdichtung wies große Risse und Klüfte auf, so daß Regenwasser ungehindert ins Mauerwerk eindringen konnte /12/.

Nach Angaben von /12/ war das heutige Schadensbild an der Nordfassade schon Anfang 1988 vorhanden und hat sich seitdem augenscheinlich nicht verändert.

5. Untersuchungen am Mauerwerk der Nordfassade

5.1 Endoskopie (Natursteinschale)

Zur Beurteilung der Natursteinschale der Nordfassade wurde eine Video-Endoskopie durchgeführt. Die hierzu notwendigen Bohrungen (14 Stück, ø 25 mm) wurden als Kernbohrungen im September 1991 von der Firma Pressbau ausgeführt. Die Bohrtiefe wurde auf 40 cm (= Länge der Bohrkronen) begrenzt. Zur Beurteilung der Tiefe der vollfugigen Vermörtelung (mittragender Querschnitt) wurden alle Bohrungen im Fugenbereich angesetzt. Die Bohrungen gestatten eine qualitative Beurteilung des Feuchtegehaltes des Mauerwerks, da trocken gebohrt wurde. Die Lage der Bohrungen ist in Bild 17 dokumentiert.

Die Dokumentation der Endoskopie erfolgt auf beiliegender Videokassette, die Auswertung auf Anlage 1 bis 16. Die Blickrichtung bei der Endoskopie ist senkrecht zur Bohrlochachse gerichtet, es werden jeweils Bohrtiefe und Blickrichtung angegeben. Die bei der Kernbohrung entnommenen Natursteinproben sind ebenfalls auf Anlage 1 bis 16 dokumentiert.

5.2 Bohrkerne (Ziegelmauerwerk)

Zur Beurteilung des Mauerwerksgefüges der Nordfassade wurden innenraumseitig zwei Bohrkerne entnommen. Die Bohrungen wurden als Kernbohrung mit 150 mm Durchmesser ausgeführt. Aus technischen Gründen konnte nur 100 cm tief gebohrt werden; es wurde naß gebohrt. Die Lage der Bohrstellen ist Bild 18 zu entnehmen, die Auswertung erfolgt auf Anlage 17 bis 21. Zur Beurteilung der Tragfähigkeit des Ziegelmauerwerks wurden aus den Bohrkernen Mauerwerkswürfel gesägt und die Druckfestigkeit bestimmt. Die Ergebnisse sind auf Anlage 21 zusammengefaßt.

5.3 Analysen von Mörtel und Naturstein

Zur Charakterisierung des Mauermörtels wurden naßchemische und röntgenographische Analysen von Mörtelproben durchgeführt. Alle Mörtelproben entstammen dem hinter der Natursteinschale anstehenden Innenschalenmauerwerk. Die Mörtelproben 1 bis 3 wurden aus den Endoskopiebohrungen entnommen, die Mörtelproben 4 bis 6 entstammen dem Innenschalenmauerwerk an der Ausbruchstelle. Die Entnahmestellen der Mörtelproben sind Bild 19 zu entnehmen, die Analysenergebnisse sind in Anlage 22 bis 24 zusammengestellt.

Zur Charakterisierung des Natursteins wurde an einem aus der Natursteinschale entnommenen Stein die Rohdichte und die Druckfestigkeit bestimmt (Bild 19, Probe 7). Ferner wurde die Rohdichte an verschiedenen Bohrkernabschnitten der Endoskopiebohrungen bestimmt und das Gestein thermoanalytisch charakterisiert. Die Ergebnisse sind in Anlage 25 bis 26 zusammengestellt.

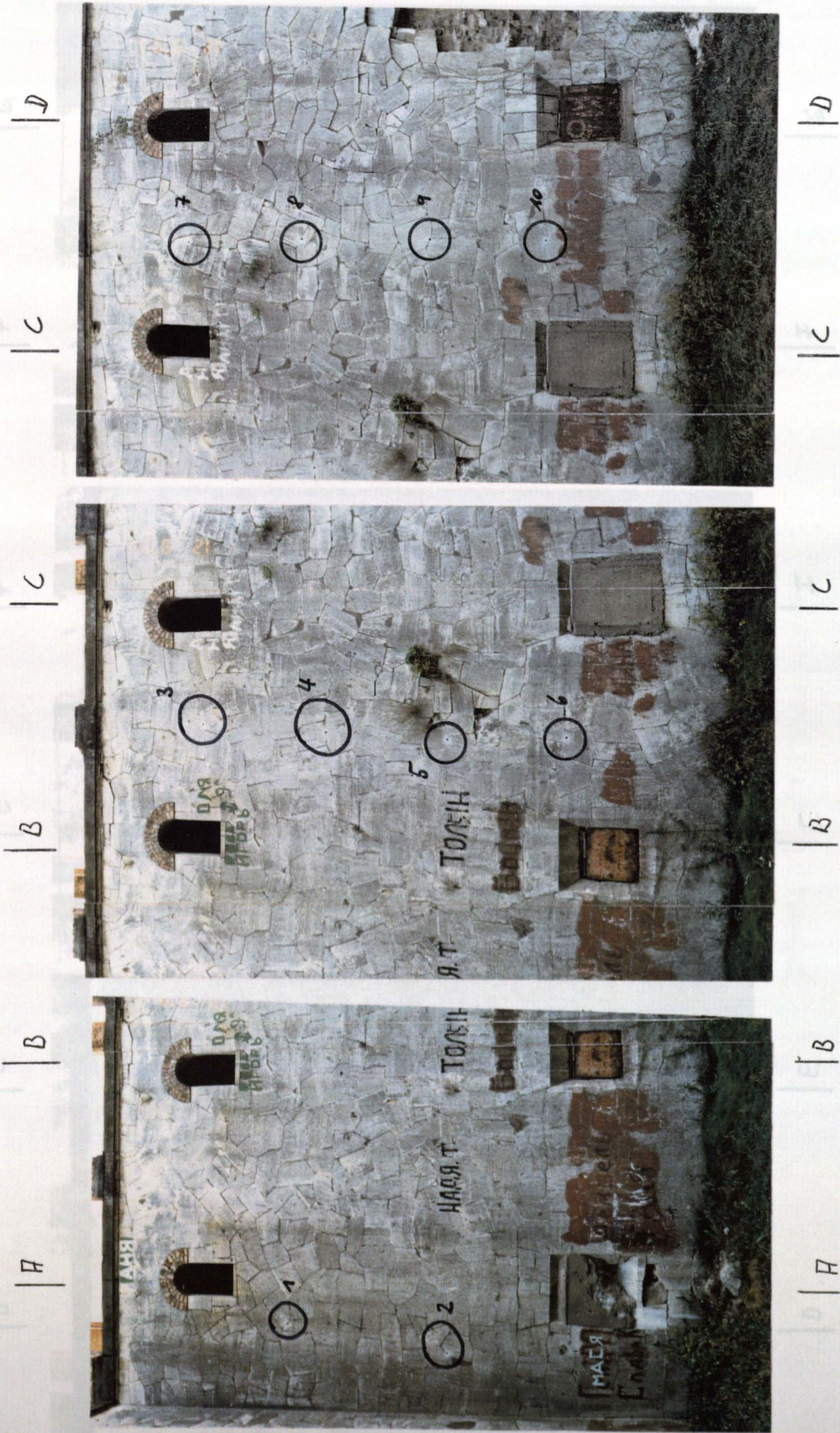


Bild 17: Lage der Endoskopiebohrungen,
Schnitt A-A bis D-D

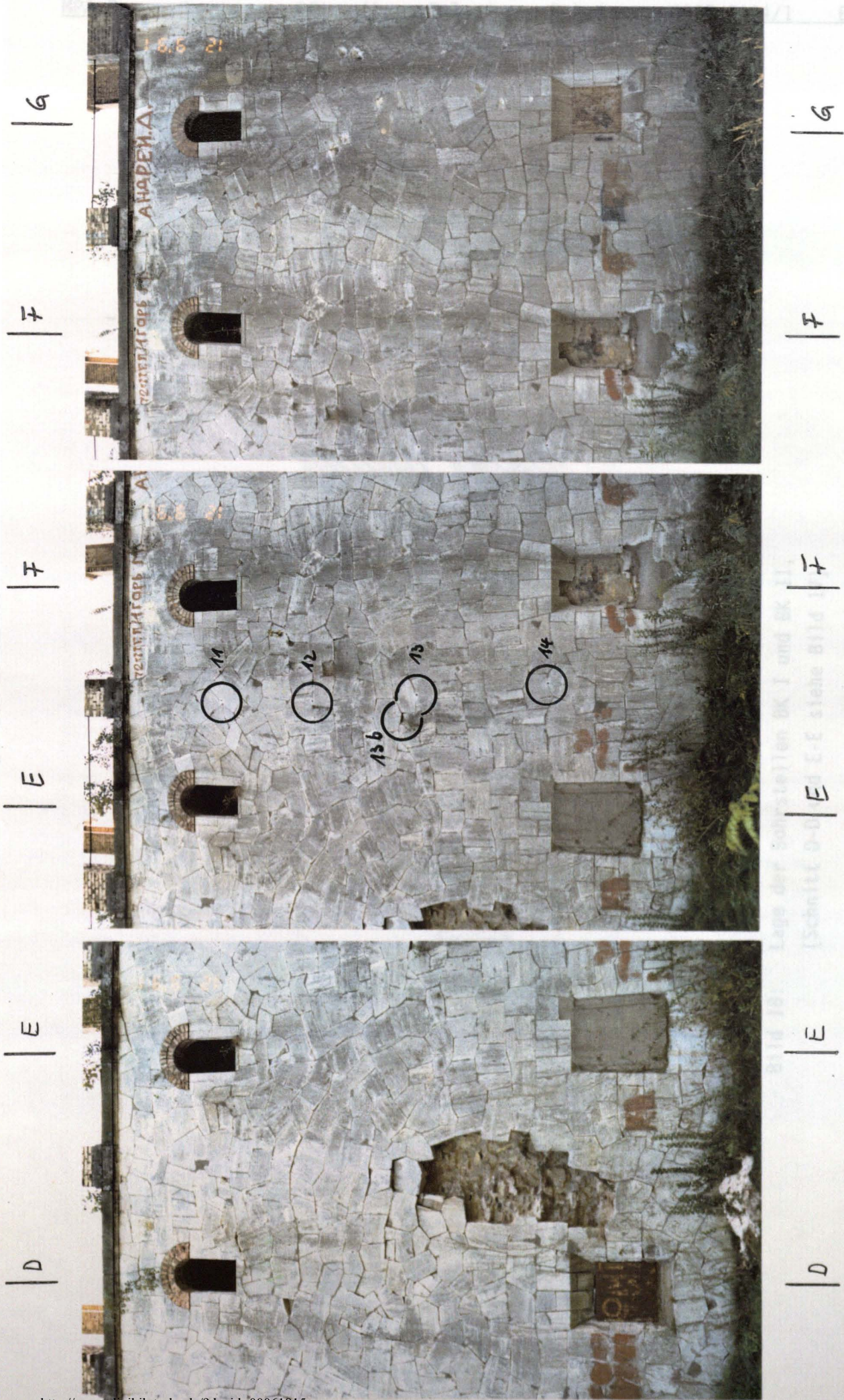


Bild 17: Lage der Endoskopiebohrungen,
Schnitt D-D bis G-G

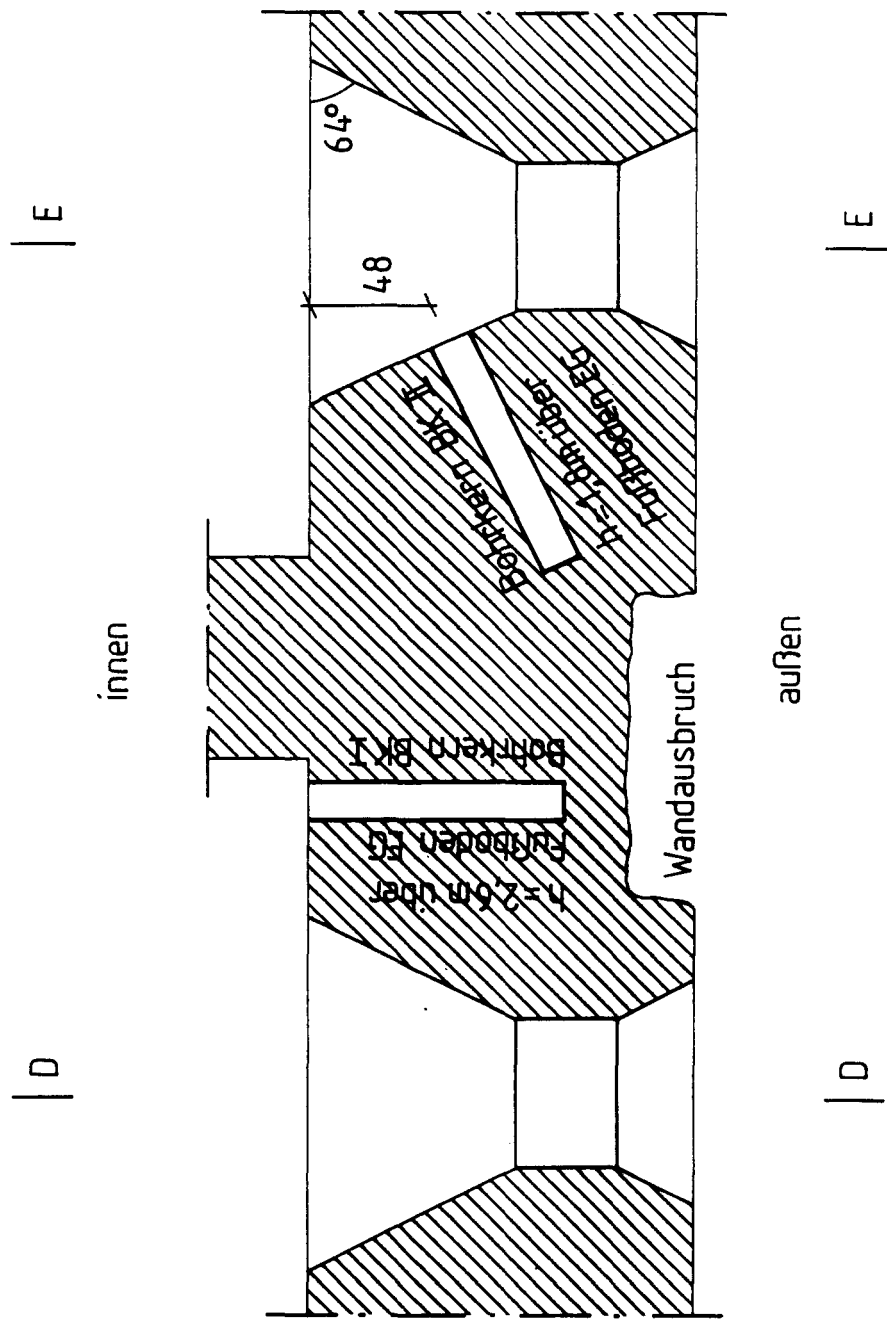


Bild 18: Lage der Bohrstellen BK I und BK II,
(Schnitt D-D und E-E siehe Bild 17)

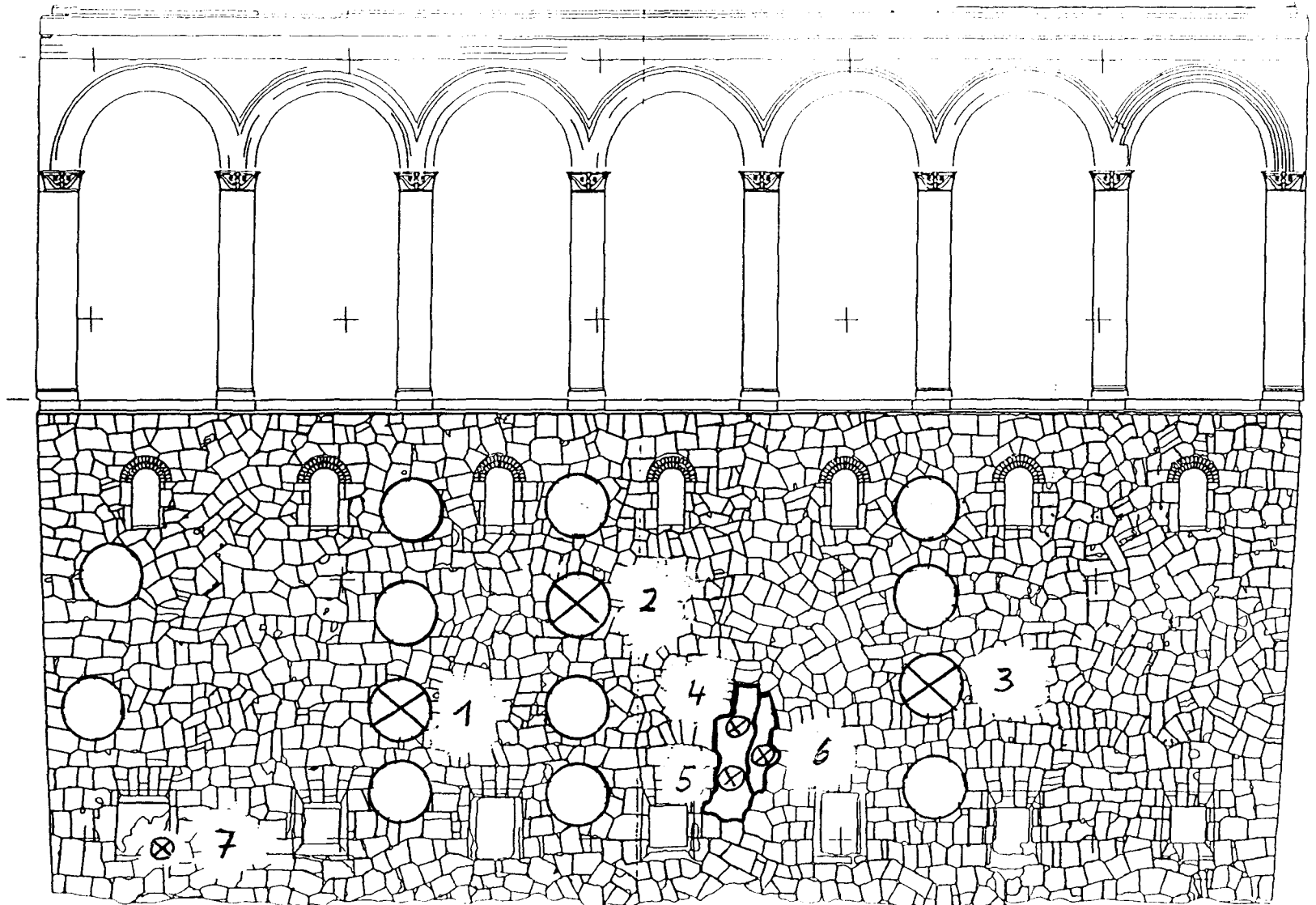


Bild 19: Entnahmestellen der Mörtelproben 1 bis 6 (Innenschalenmörtel) und Natursteinprobe 7
(Proben 1 bis 3 aus Bohrlöchern, Proben 4 bis 6 aus Wandausbruch)

6. Beurteilung des Mauerwerks der Nordfassade

6.1 Baustoffe

Der in der Natursteinschale vermauerte Naturstein ist als Rüdersdorfer Kalkstein anzusprechen. Das DTA-Diagramm (Anlage 26) weist das Gestein als reinen Kalkstein aus, es zeigt die typische Form für Calcit. Nebengemengteile und andere Minerale sind nicht vorhanden. Die Rohdichte des Gesteins beträgt $\rho = 2,02 \text{ kg/dm}^3$ (Entnahmestein) bzw. $2,51 \text{ kg/dm}^3$ (Bohrkerne). Die Druckfestigkeit nach DIN 52 105 beträgt $\beta_D = 31 \text{ N/mm}^2$.

Der Mörtel der hinter der Natursteinschale anstehenden Innenschale ist als Luftkalkmörtel anzusprechen (Anlage 22, CaO-Anteil ca. 80 Gew.-%). Das Magerungsverhältnis beträgt nach Raumteilen ca. 1 : 3 bis 1 : 4. Signifikante Unterschiede zwischen den im Ziegelbereich entnommenen Proben 4 und 5 und der aus dem Natursteinbereich entnommenen Probe 6 sind nicht feststellbar. Der Mörtel der Natursteinschale konnte nicht analysiert werden, da keine ausreichende Probenmenge entnommen werden konnte. Es kann daher nur vermutet werden, daß die Natursteinschale ebenso wie das innenraumseitige Ziegelmauerwerk auch mit Luftkalkmörtel gemauert wurde. Der in Teilbereichen der Natursteinschale festzustellende rezente Fugenverstrichmörtel besteht nach Augenschein aus Zementmörtel.

6.2 Mauerwerksgefüge

Das Mauerwerk der Nordfassade ist als mehrschaliges Mischmauerwerk erstellt worden. Bei einer Gesamtwanddicke von 150 cm besteht das Mauerwerk aus folgenden Schalen (siehe Bild 20, von innen nach außen):

- einer innenraumseitigen, ca. 36 cm starken, im Verband gemauerten Ziegelschale,
- einer ca. 30 cm starken, regellosen, vollfugig vermörtelten Ziegelschale,
- einer ca. 55 cm starken, aus Bruchsteinen im regellosen Verband hergestellten Natursteinschale mit teilweise ausgewittertem Mörtel,

- einer Vorblendschale aus Werksteinen, deren mittragender Querschnitt zu 10 cm ermittelt wurde (Fugenbereich); einzelne Werksteine binden bis zu 20 cm in das Bruchsteinmauerwerk ein.

Der Verband zwischen den Ziegelschalen sowie zur Bruchsteinschale scheint weitgehend intakt zu sein. Der Mauermörtel ist in diesen Schalen durchgehend, die Schalen sind vermutlich gleichzeitig aufgemauert worden.

In denjenigen Wandbereichen, in denen Ziegelmauerwerk hinter der Natursteinschale ansteht (z.B. Wandausbruch, Bohrkern Bk I), ist das aus Bruchsteinen hergestellte Füllmauerwerk nur ca. 30 cm stark. Die Einbindung in die Vorblendschale erfolgt durch eine ca. 20 cm starke, geschichtete Ziegelschale (siehe Bild 21). Aufgrund des Wandaufbaus kann sicher angenommen werden, daß es sich bei diesen Wandbereichen um die Sanierungsmaßnahme von 1930 handelt. Eine Lokalisierung dieser Wandbereiche, basierend auf den Endoskopiebefunden, erfolgt in Bild 22.

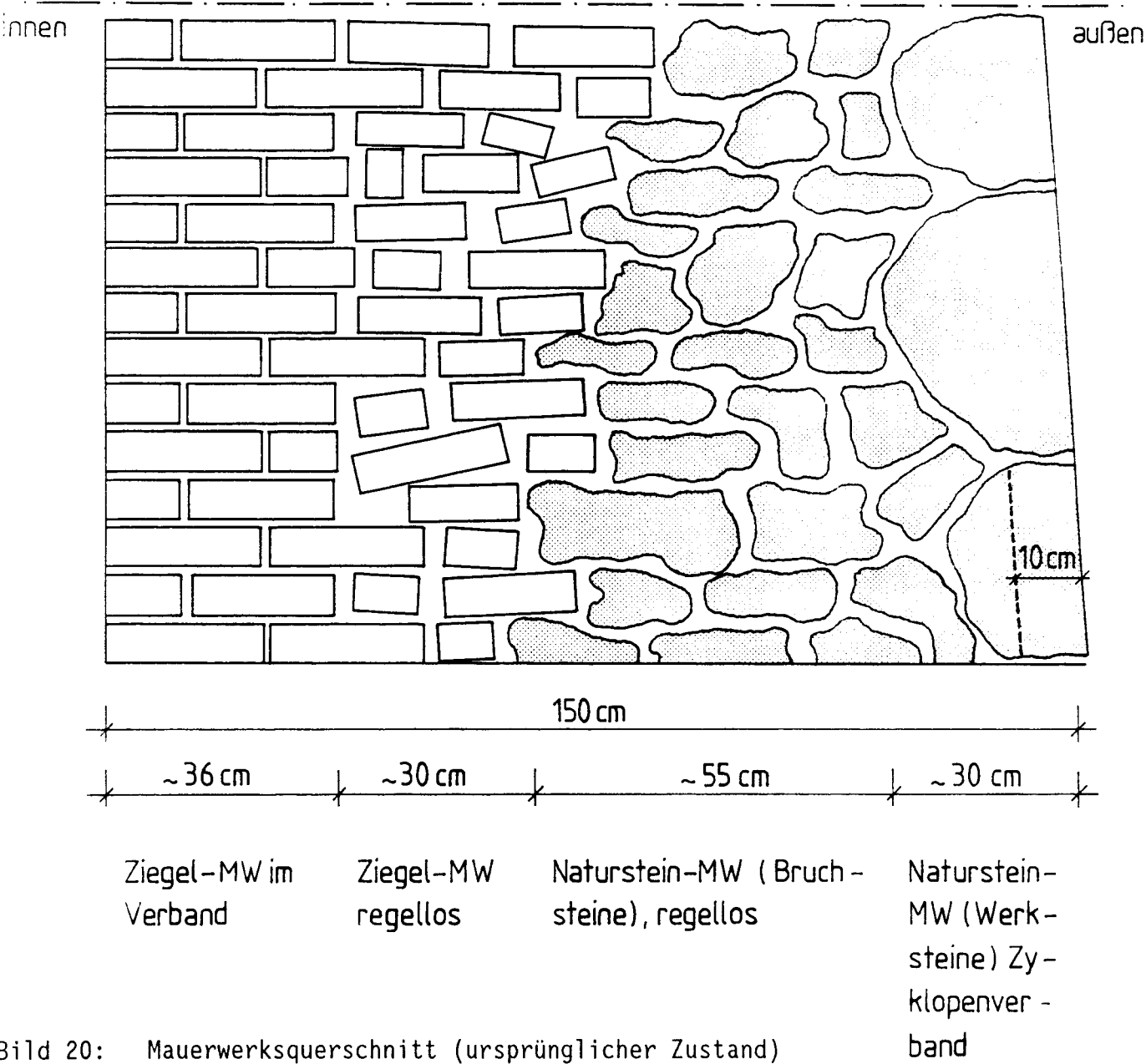
Neben dem ausgebeulten Wandbereich konnten durch die Endoskopie weitere Wandbereiche lokalisiert werden, in denen hinter der Natursteinschale Hohlräume vorhanden sind (siehe Bild 23). Ferner wurde festgestellt, daß in nahezu allen endoskopierte Bohrlöchern der Mörtel der Innenschale durchfeuchtet und ohne Bindung ist (Bild 24).

6.3 Tragfähigkeit der Natursteinschale

Der in der Natursteinschale vorhandene Belastungszustand wird in Anlage 27 abgeschätzt. Die Ergebnisse zeigen, daß die Tragfähigkeit der Natursteinschale im unverformten, mit dem Kernmauerwerk verzahnten Zustand ausreichend ist; tragfähigkeitssteigernde Einflüsse wie die Neigung der Natursteinschale sowie die Bettung der Werksteine im Kernschalenmörtel wurden in der Abschätzung nicht berücksichtigt.

Ein rechnerischer Nachweis der Standsicherheit der Natursteinschale im verformten Zustand gelang bisher nicht. Als Ursachen hierfür sind zu nennen:

- Die Verformung der Schale ist mit einem Stich von $f = 13$ cm größer als die rechnerisch anzusetzende, mittragende Querschnittsdicke von $d = 10$ cm.
- Da die Natursteinschale im ausgebeulten Bereich nicht in das Kernmauerwerk einbindet, entfällt die rückwärtige Stützung der Werksteine.



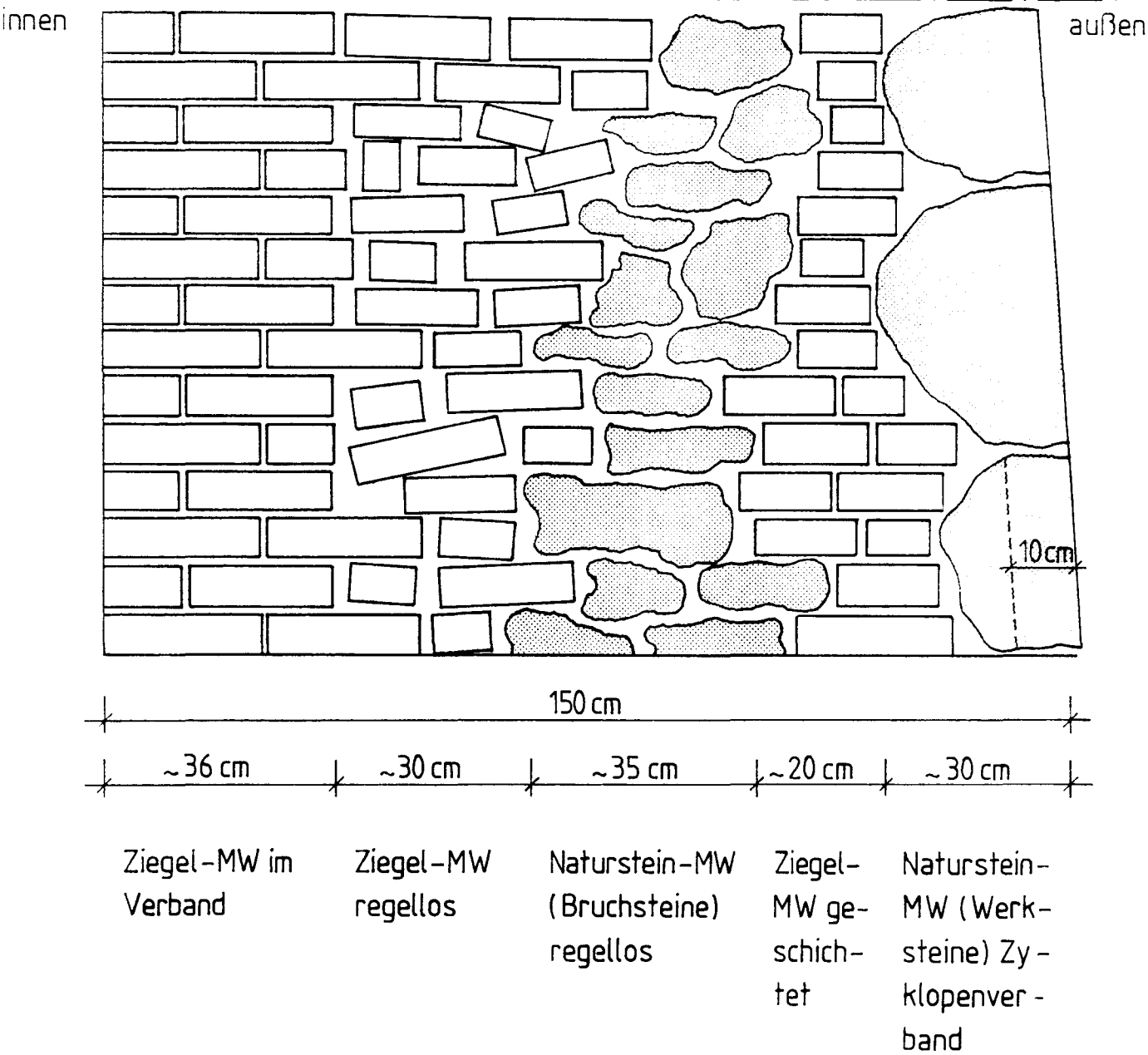


Bild 21: Mauerwerksquerschnitt Bohrkerne Bk I (nachträgliche Sanierung, vermutlich 1930)

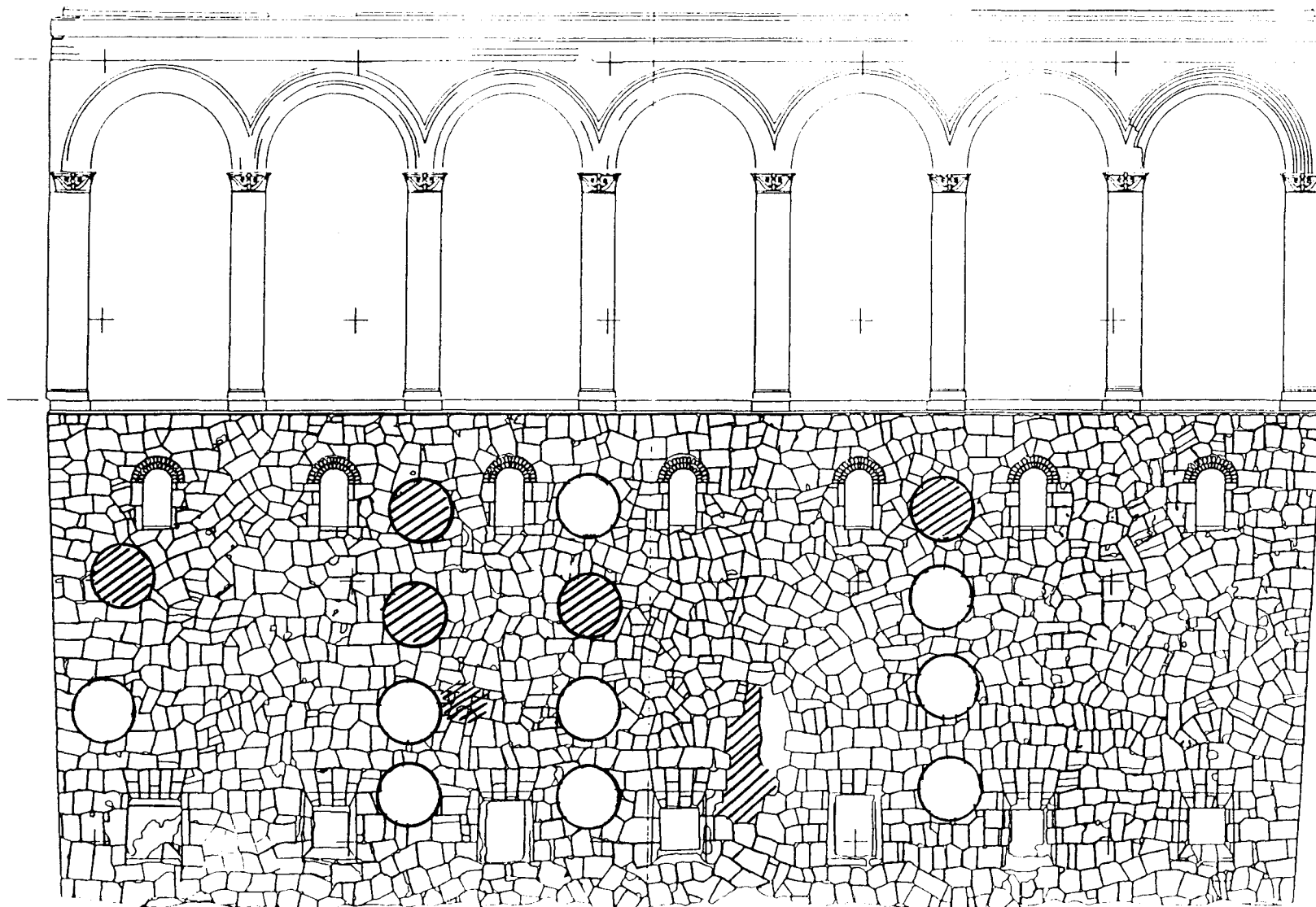


Bild 22: Kartierung von Endoskopiebefunden:



Befund: Ziegel hinter der Natursteinschale
(vermutlich Sanierung von 1930)

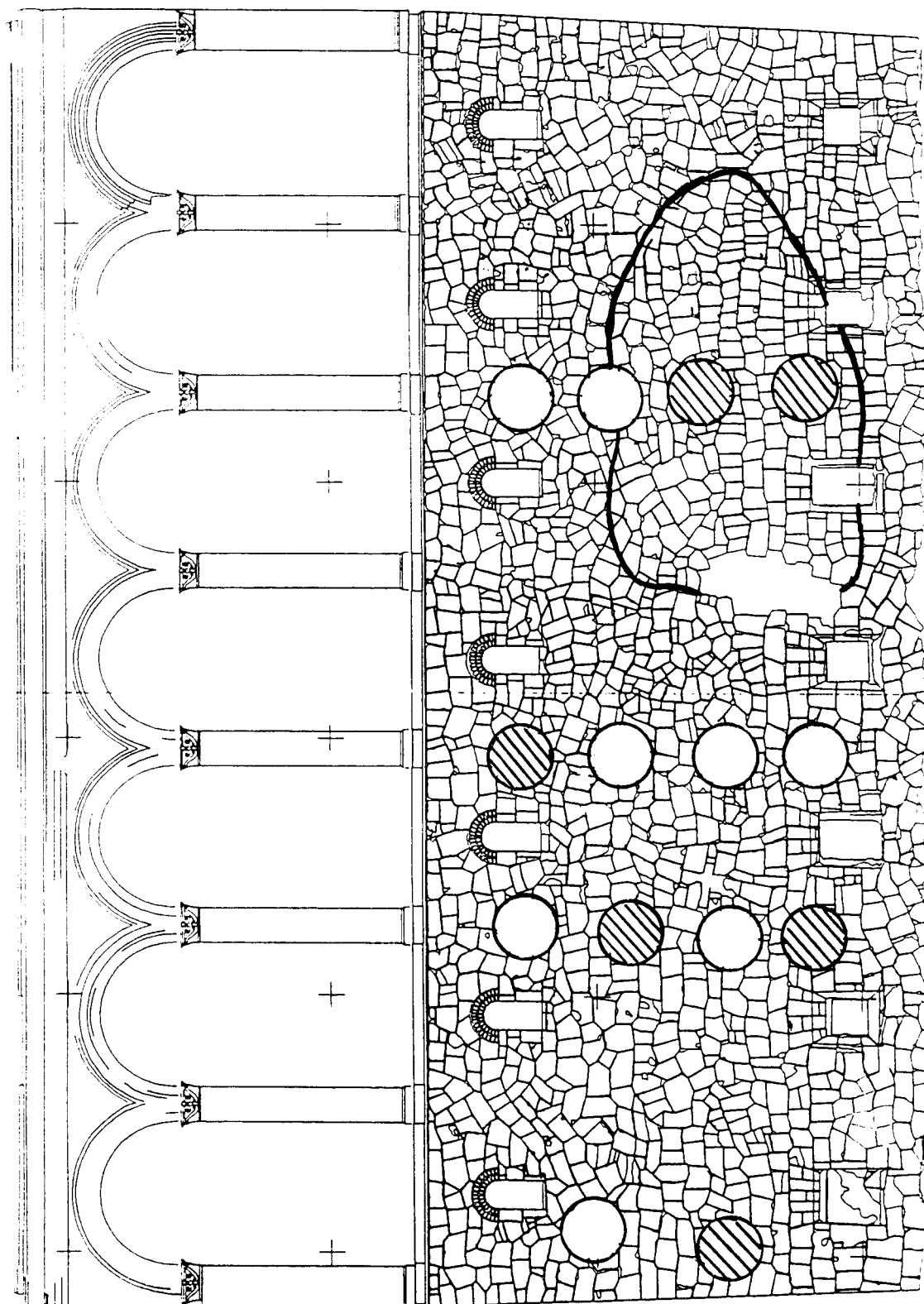


Bild 23: Kartierung von Endoskopiebefunden:

Befund: Hohlräume hinter der Natursteinschale



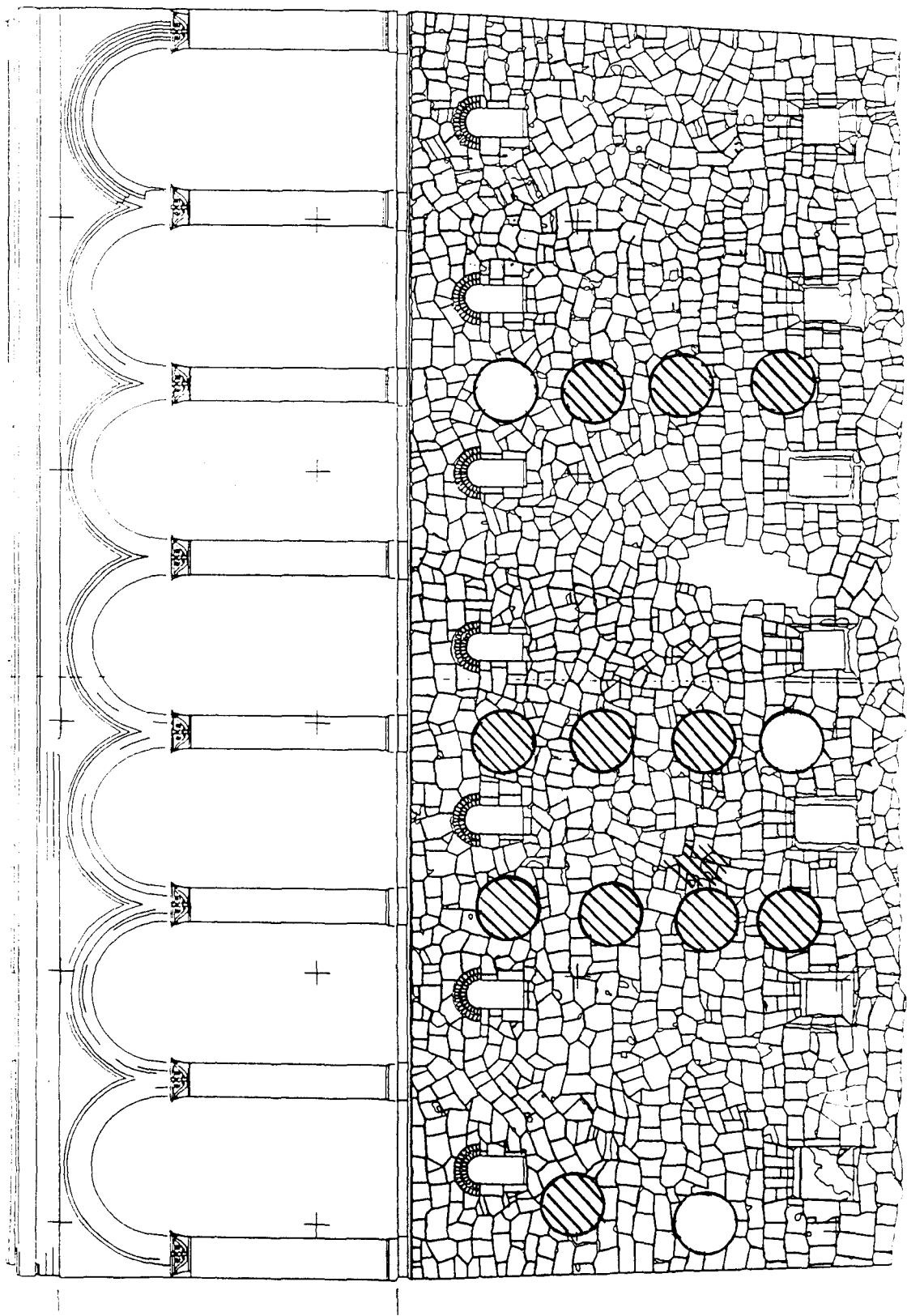


Bild 24: Kartierung von Endoskopiebefunden:

Befund: Mörtel hinter der Natursteinschale durchfeuchtet
und ohne Bindung



- Bedingt durch die Neigung der Schale und die Form der Werksteine liegt der Schwerpunkt der Steine exzentrisch zur mittragenden Fugenfläche.
- Die maximalen Spannungen treten im verformten Zustand im rückwärtigen Fugenbereich auf. Hier beträgt die Fugenstärke 20 mm gegenüber 5 mm an der Vorderseite, was sich tragfähigkeitsmindernd auswirkt.

Die verformte Natursteinschale ist daher im derzeitigen Zustand und nach den bisherigen Kenntnissen als akut einsturzgefährdet anzusehen. Eine temporäre Sicherung der Ausbeulung erscheint unbedingt erforderlich.

Die Tatsache, daß der Zustand der Ausbeulung offensichtlich seit 1988 /12/ stabil ist, gibt Anlaß zu weiteren Forschungen hinsichtlich des Lastabtrags von Zyklopenmauerwerk aus Werksteinen. Nach dem derzeitigen Kenntnisstand beruht der Gleichgewichtszustand der verformten Schale darauf, daß die Fugen intakt sind und die Schale als dreiseitig eingespannte Scheibe trägt.

Die Tragfähigkeit der Ziegelschalen wurde in Anlage 21 ermittelt. Die mittlere Druckfestigkeit der Mauerwerksproben von $\beta_D = 8,5 \text{ N/mm}^2$ entspricht einem Mauerwerk nach DIN 1053 T1 mit der Steinfestigkeit $\beta_{St} = 20 \text{ N/mm}^2$ und der Mörtelgruppe M II. Die Unterschiede in den Festigkeitswerten zwischen der im Verband gemauerten und der regellosen Ziegelschale sind bemerkenswert gering.

6.4 Schadensursache

Als primäre Ursache der Schäden an der Natursteinschale der Nordwand ist die Durchfeuchtung des Mauerwerks durch mangelhafte Abdichtung und fehlende Wasserableitung der Lauffläche des Bogengangs anzusehen. Statische Überbelastung, chemische Treibprozesse und Gründungsmängel können u.E. als Ursache für das Schadensbild der Nordfassade ausgeschlossen werden.

Der Schadensmechanismus, der der Ausbeulung der Natursteinschale zugrunde liegt, kann wie folgt beschrieben werden (siehe Bild 25): Durch die Lauffläche des Bogenganges und die Fassade dringt Feuchte in das Mauerwerk ein. Der nicht feuchtebeständige Luftkalkmörtel wird gelöst und in Richtung Wandfuß gespült. Dadurch wird die Einbindung der Natursteinschale ins Füllmauerwerk zerstört, die Natursteinschale wird zur freistehenden Verblendung. Der sich am Wandfuß ansammelnde Mörtel erzeugt - verstärkt durch Frostwirkungen - Horizontalkräfte auf die Natursteinschale. Da die Natursteinschale, bedingt durch den Verband

und das intakte Fugenbild, allseitig gezwängt ist, kommt es zur Ausbeulung der freistehenden Natursteinschale.

In denjenigen Wandbereichen, in denen einzelne Werksteine aus dem Verband austreten, scheint der gleiche Schadensmechanismus wirksam zu sein. Jedoch kann sich hier infolge zerstörten Fugenbildes keine Schalensteifigkeit ausbilden, so daß sich nur Einzelsteine lösen.

6.5 Empfehlungen zum Sanierungskonzept

Zur Ausarbeitung eines detaillierten Sanierungskonzeptes sind neben den hier vorgelegten Untersuchungsergebnissen auch die Ergebnisse der anderen beteiligten Institute zu berücksichtigen und interdisziplinär zu diskutieren. Im folgenden sollen daher nur Anregungen für das zu planende Sanierungskonzept gegeben werden. Geeignete Verfahren und Materialien sind nach Vorliegen aller Untersuchungsergebnisse zu spezifizieren.

Maßgebend für das Vermeiden weiterer Schadensfälle an der Nordfassade ist die dauerhafte Abdichtung des Bogenganges. Die vorhandene Abdichtung sollte abgetragen und erneuert werden. Auf folgende Eigenschaften ist besonderer Wert zu legen:

- Der Belag muß die auftretenden Temperaturspannungen rißfrei aufnehmen können, ferner muß er frostsicher sein.
- Der Anschluß des Bodenbelages an die Pfeilerfüße des Bogenganges ist konstruktiv besonders zu berücksichtigen.
- Der Bodenbelag sollte zwecks Wasserableitung mit Gefälle ausgeführt werden. Eine unkontrollierte Wasserableitung über die Fassade ist zu vermeiden.

Die Ausbeulung der Nordfassade sollte abgetragen und neu aufgemauert werden. Hierzu sollten die einzelnen Werksteine nummeriert und auf den Meßbildern kartiert werden. Nach Abtrag der Natursteinschale und Reinigung des Füllmauerwerks ist eine handwerklich fachgerechte Einbindung der Natursteinschale durch eine neue Hintermauerung sicher zu stellen. Da keine Gipsmörtel festgestellt wurden, sind alle hydraulischen Kalk- und Kalk-Zement-Mörtel geeignet. Die Natursteinschale und die Hintermauerung sollten gleichzeitig hochgemauert werden. Zusätzlich sollte die Natursteinschale im 3-Meter-Raster durch Nadeln aus

Edelstahl an das Füllmauerwerk angebunden werden. Zur Anordnung der verdeckten Nadeln sollten große Werksteine in den Fugen ausgearbeitet werden (Bild 26).

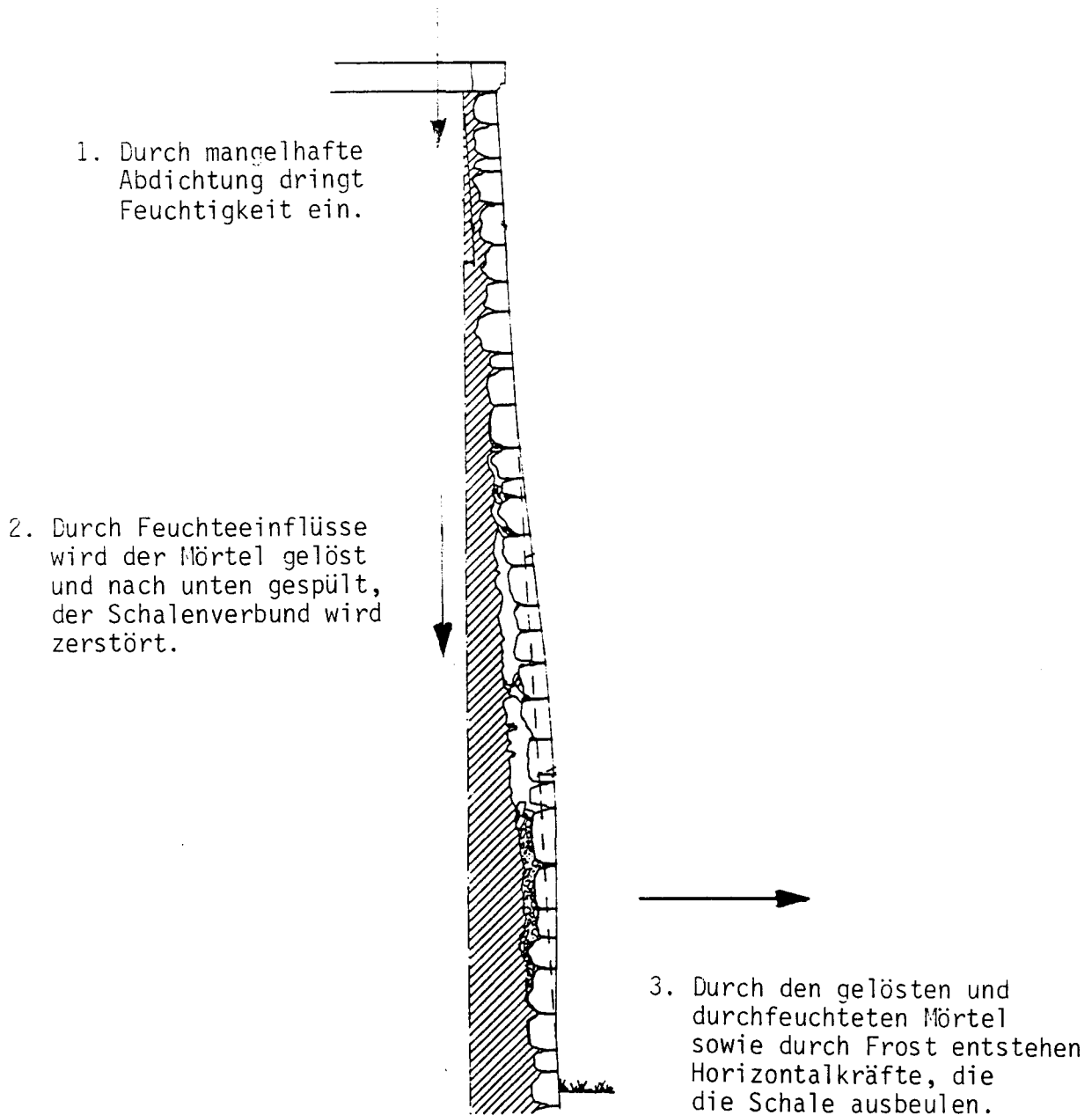


Bild 25: Schadensdiagnose

In gleicher Weise sollten diejenigen Wandbereiche saniert werden, in denen der Steinverband zerstört ist oder Pflanzenwuchs festzustellen ist.

Abschließend sind alle Fugen dauerhaft zu schließen. Zur Auswahl geeigneter Mörtel und Fugverfahren sollten Musterflächen angelegt werden.

In Anbetracht der Tatsache, daß in nahezu allen endoskopierte Bohrlöchern das Füllmauerwerk durchfeuchtet ist (siehe Bild 24), sollte eine Injektion des Füllmauerwerks auch in den äußerlich noch nicht geschädigten Wandbereichen erwogen werden.

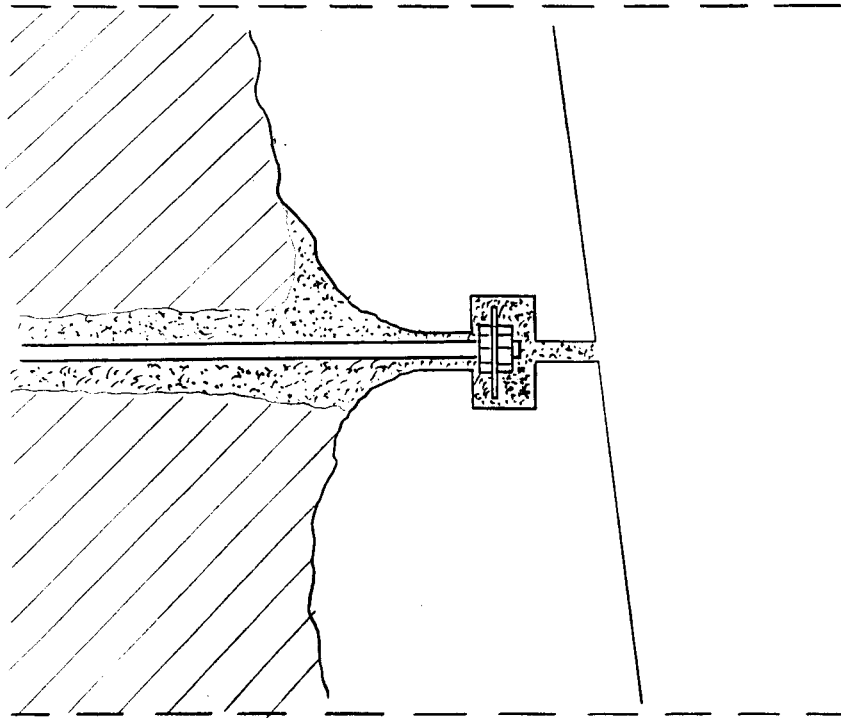


Bild 26: Verdeckte Vernadelung der neu aufzumauernden Natursteinschale

7. Hinweise für weitere Untersuchungen

Nach den vorliegenden Ergebnissen sind folgende Ansatzpunkte für weitere Untersuchungen zu nennen:

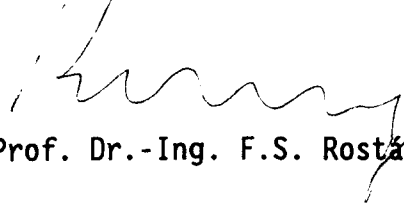
- Der Mechanismus der Zersetzung von Kalkmörteln durch Feuchteeinfluß.
- Die Tragfähigkeit von Werksteinen im Zyklopenverband.

Als Ursache der Zersetzung von Kalkmörtel durch Feuchteeinfluß können derzeit, je nach Intensität der Durchfeuchtung, zwei Mechanismen vermutet werden. Eine starke Durchströmung des Mörtels kann eine Auslaugung bewirken. Der verwitterte Mörtel weist dann einen sehr geringen Bindemittelanteil auf. Eine

wechselnde Durchfeuchtung kann zur Sammelkristallisation des Bindemittels führen; größere Kristallite wachsen hierbei auf Kosten kleinerer, was zur Freilegung des Zuschlagkorns führt. Auch Kombinationen beider Mechanismen sind denkbar. Eine vergleichende Analyse ursprünglicher und verwitterter Mörtel könnte die maßgebenden Mechanismen identifizieren und den unter Abschnitt 6.4 vermuteten Schadenmechanismus bestätigen.

Die Tragfähigkeit der Natursteinschale ist nach den derzeitigen Kenntnissen nur unzureichend einschätzbar. Einerseits wird die Kombination von werkmäßig bearbeiteten Natursteinen und unregelmäßigen Zyklopenverband in der DIN-Norm nicht berücksichtigt, andererseits sind keine Versuchsergebnisse zum Tragverhalten derartigen Natursteinmauerwerks bekannt. Da der am Pfingstberg Belvedere ausgeführte Mauerwerksverband jedoch für die Bauzeit und den Potsdamer Raum typisch ist, wird vorgeschlagen, die Tragfähigkeit an Ausbaumaterial im Labor zu ermitteln. Hierzu sollten aus dem abzutragenden Bereich der Ausbeulung je fünf ca. 1 m^2 große Wandbereiche im Verband entnommen und im Labor bis zur RiBlast geprüft werden. Die an der Amtlichen Materialprüfanstalt gewonnenen Erkenntnisse zum Bruchversagen von Natursteinmauerwerk ermöglichen dann die Extrapolation auf die Bruchlast. Durch dieses Vorgehen kann eine Zerstörung der Werksteine weitgehend vermieden werden. Für die Beurteilung der Natursteinschale des Pfingstberg Belvedere sowie weiterer Potsdamer Bauten würden damit verbesserte Grundlagen geschaffen.

Der Direktor



Prof. Dr.-Ing. F.S. Rostásy

Der Sachbearbeiter



Dipl.-Ing. P. Warnecke

Braunschweig, den 29. Juni 1992

Dokumentation der Endoskopiebohrungen

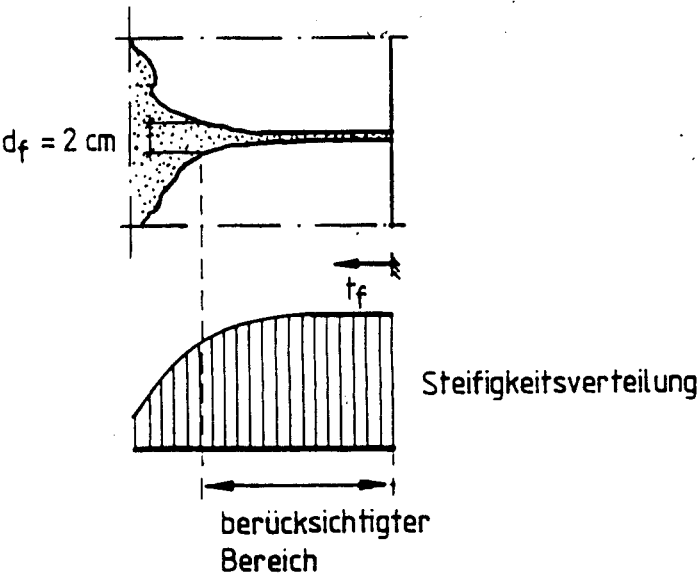
Legende Bohrlochprofil

			
Naturstein	Mörtel	Hohlraum	Kernmauerwerk

Alle Bohrungen wurden 40 cm tief angesetzt. Bei einer geringeren, im Bohrlochprofil ausgewiesenen Bohrtiefe ist das Bohrloch im nichtbindigen Mörtel der Innenschale bzw. des Kernmauerwerks eingefallen.

Ermittlung des mittragenden Querschnitts der Natursteinschale

Bohrlochprofil: Angabe derjenigen Bohrlochtiefe, in der die Fugendicke 2 cm beträgt.



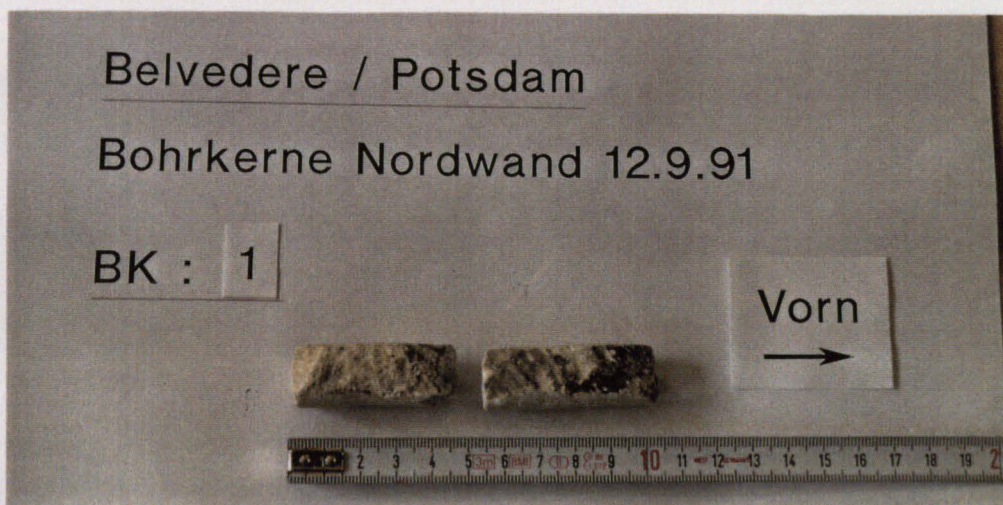
Bohrkern: Angabe der Bohrkernlänge

Dokumentation der Endoskopiebohrung 1

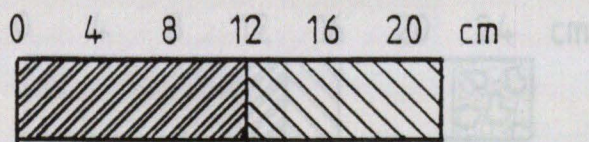
Bohrlochansicht



Bohrkern



Bohrlochprofil



Endoskopiebefund

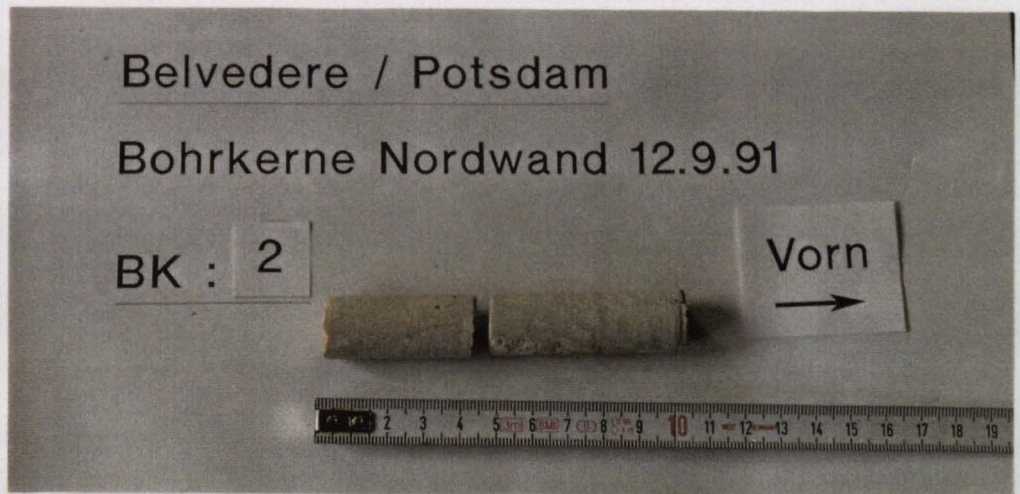
- Fugenverstrich mit Zementmörtel
 - Fuge vollflächig vermörtelt
 - Innenschalenmörtel durchfeuchtet
 - Ziegel angebohrt
 - Mittragender Querschnitt Natursteinschale
- Bohrlochprofil: 13 cm
Bohrkern : 10 cm

Dokumentation der Endoskopiebohrung 2

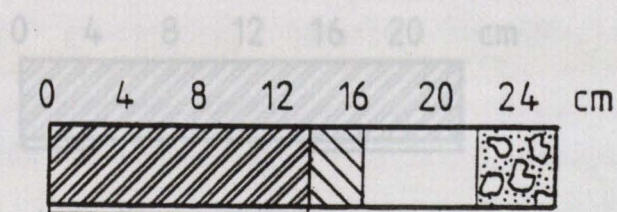
Bohrlochansicht



Bohrkern



Bohrlochprofil



Endoskopiebefund

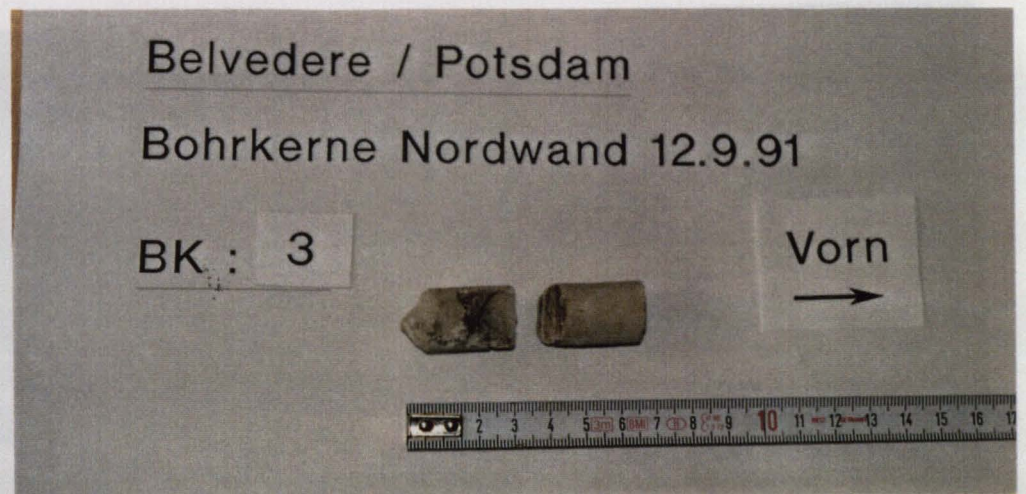
- kein Fugenverstrich, Preßfuge erkennbar
 - Fuge vollflächig vermörtelt
 - Hohlraum in Innenschale
 - Mittragender Querschnitt Natursteinschale
- Bohrlochprofil: 14 cm
Bohrkern : 10 cm

Dokumentation der Endoskopiebohrung 3

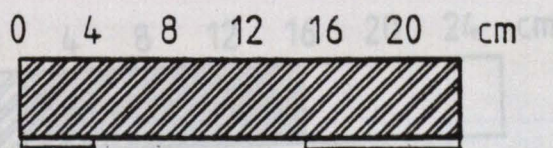
Bohrlochansicht



Bohrkern



Bohrlochprofil



Endoskopiebefund

- kein Fugenverstrich, Preßfuge
- Fuge teilweise hohl
- Übergang Naturstein-Mörtel nicht erkennbar
- Innenschalenmörtel durchfeuchtet
- Ziegel angebohrt
- Mittragender Querschnitt Natursteinschale

Bohrlochprofil: - cm

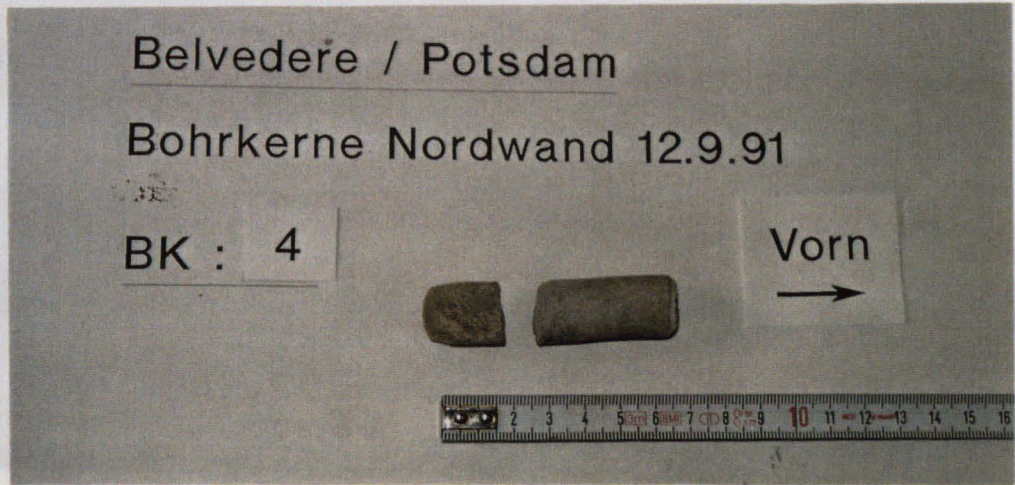
Bohrkern : 6 cm

Dokumentation der Endoskopiebohrung 4

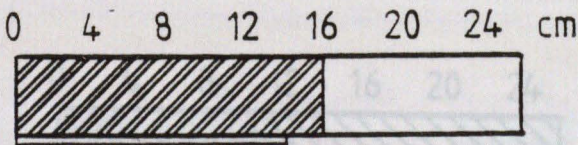
Bohrlochansicht



Bohrkern



Bohrlochprofil



Endoskopiebefund

- kein Fugenverstrich, Preßfuge
- Fuge vollflächig vermörtelt
- großer Hohlraum in Innenschale
- Innenschalenmörtel durchfeuchtet
- Ziegel angebohrt
- Mittragender Querschnitt Natursteinschale

Bohrlochprofil: 16 cm

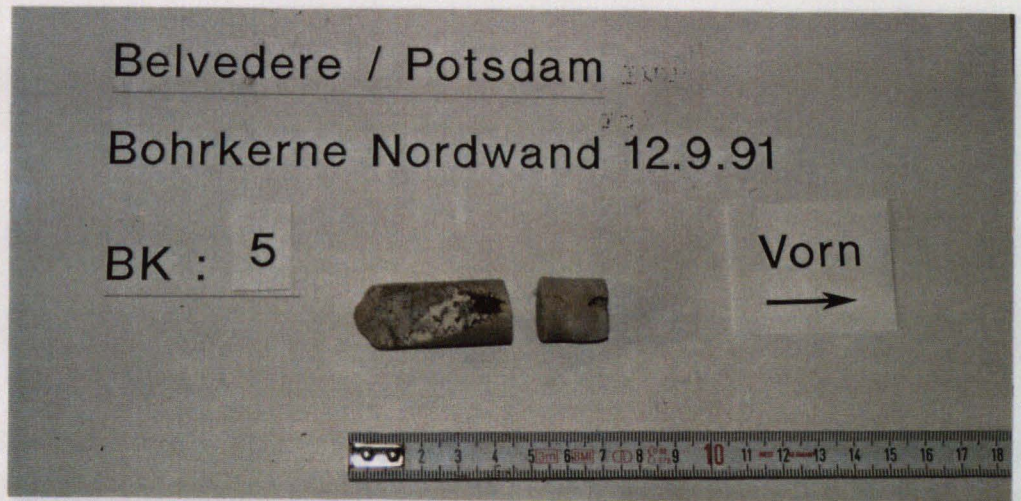
Bohrkern : 6 cm

Dokumentation der Endoskopiebohrung 5

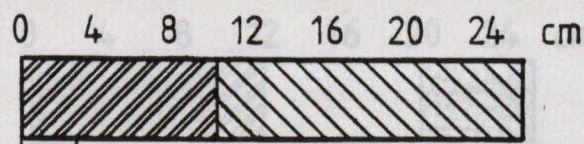
Bohrlochansicht



Bohrkern



Bohrlochprofil



Endoskopiebefund

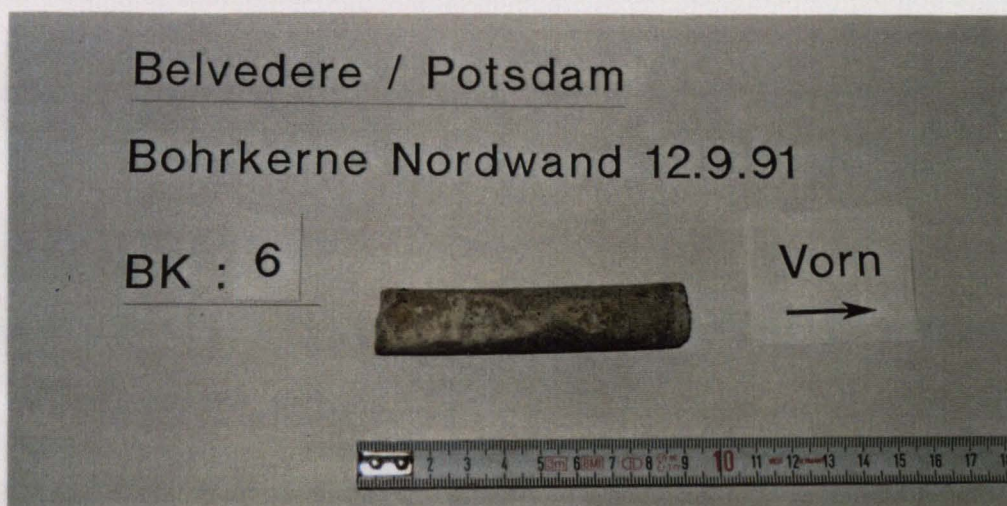
- kein Fugenverstrich, Preßfuge
 - Fuge teilweise hohl
 - Innenschalenmörtel durchfeuchtet
 - Mittragender Querschnitt Natursteinschale
- Bohrlochprofil: 11 cm
- Bohrkern : 6 cm
- Bohrkern : 8 cm

Dokumentation der Endoskopiebohrung 6

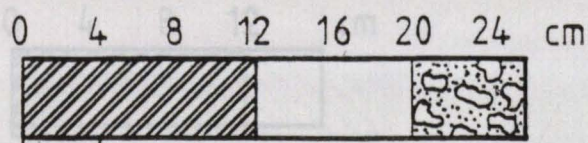
Bohrlochansicht



Bohrkern



Bohrlochprofil



Endoskopiebefund

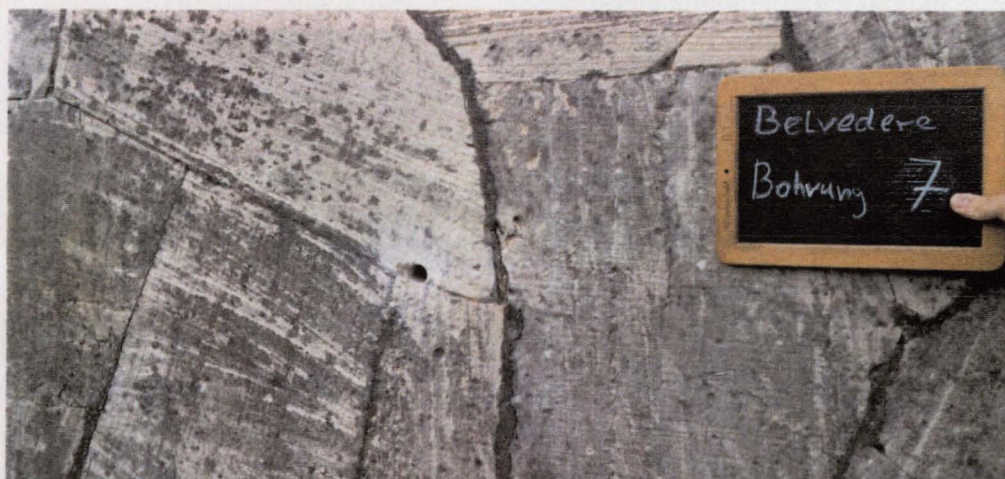
- kein Fugenverstrich, Preßfuge
- Fuge teilweise hohl
- Hohlraum in Innenschale
- Innenschalenmörtel durchfeuchtet, ohne Bindung
- Mittragender Querschnitt Natursteinschale

Bohrlochprofil: 12 cm

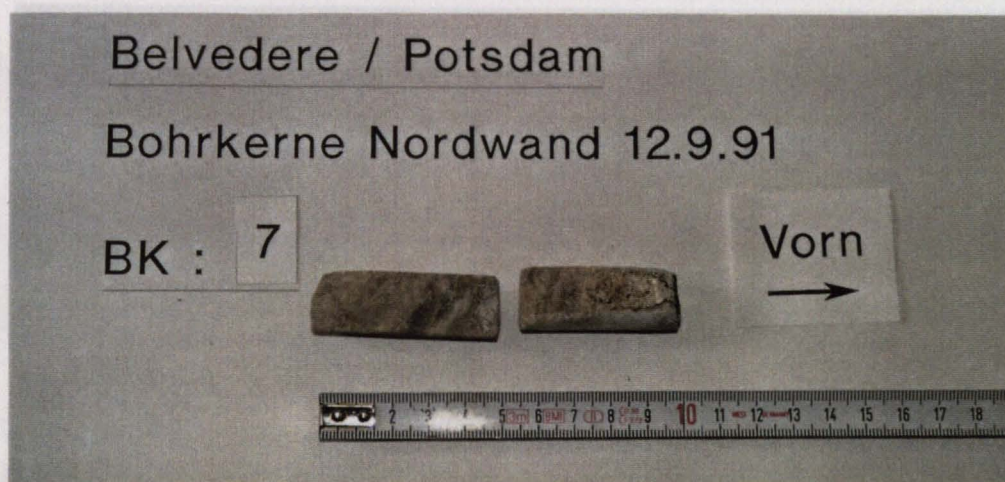
Bohrkern : 8 cm

Dokumentation der Endoskopiebohrung 7

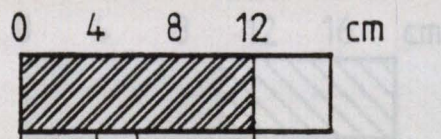
Bohrlochansicht



Bohrkern



Bohrlochprofil



Endoskopiebefund

- kein Fugenverstrich, Preßfuge
- Fuge teilweise hohl
- Hohlraum in Innenschale
- Innenschalenmörtel durchfeuchtet, ohne Bindung
- Mittragender Querschnitt Natursteinschale

Bohrlochprofil: 12 cm

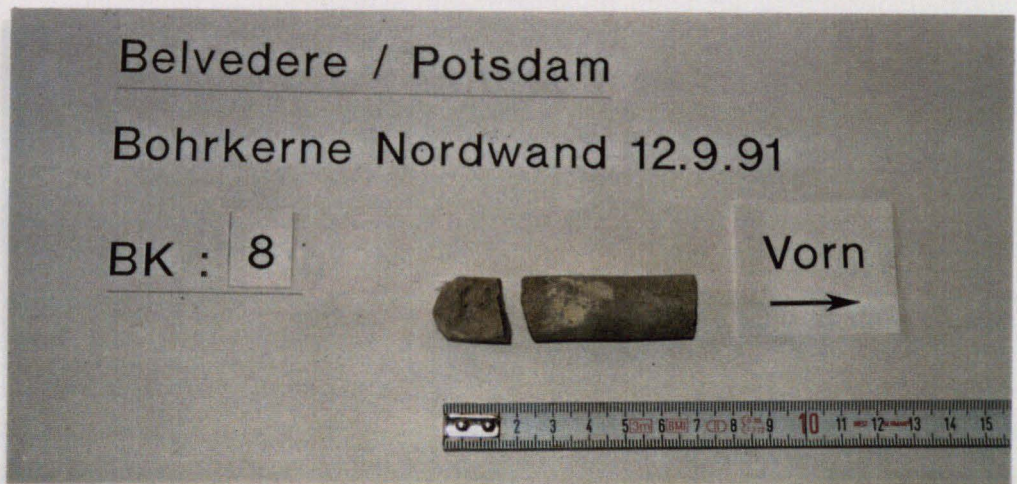
Bohrkern : 9 cm

Dokumentation der Endoskopiebohrung 8

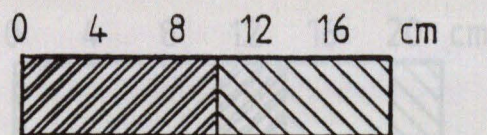
Bohrlochansicht



Bohrkern



Bohrlochprofil



Endoskopiebefund

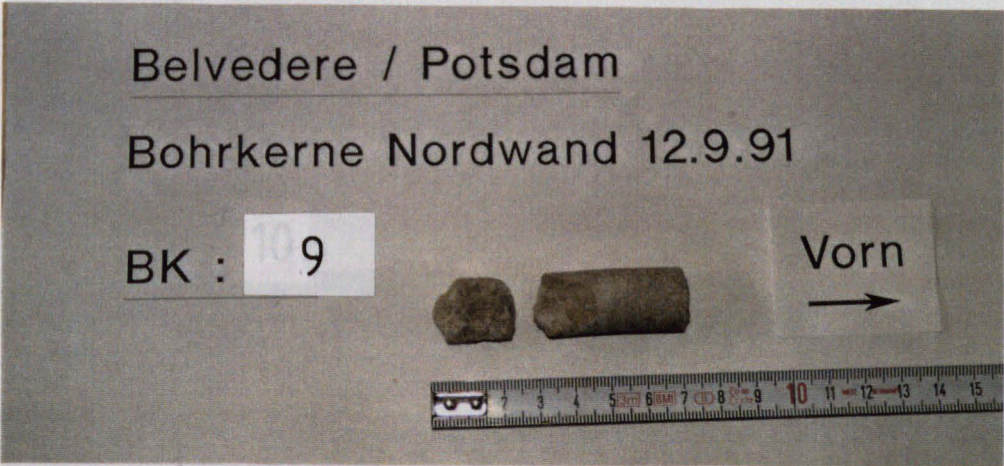
- kein Fugenverstrich
 - Fuge teilweise hohl
 - Innenschalenmörtel durchfeuchtet
 - Ziegel angebohrt
 - Mittragender Querschnitt Natursteinschale
- Bohrlochprofil: 10 cm
Bohrkern : 6 cm

Dokumentation der Endoskopiebohrung 9

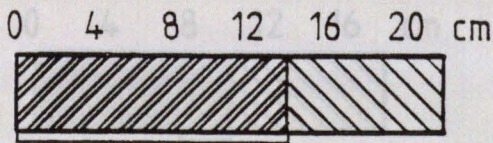
Bohrlochansicht



Bohrkern



Bohrlochprofil



Endoskopiebefund

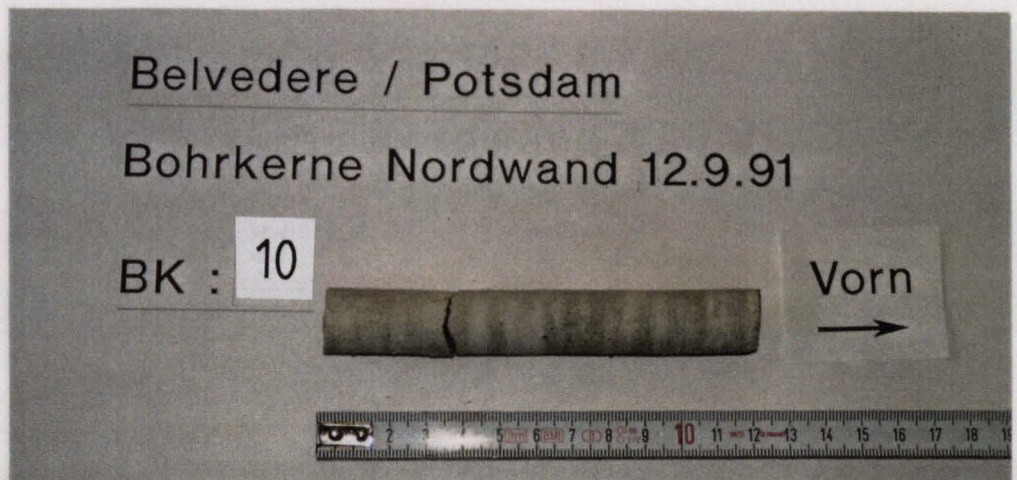
- kein Fugenverstrich *Preßfuge*
 - Fuge teilweise hohl *mörtelt*
 - Innenschalenmörtel durchfeuchtet *einschale*
 - Mittragender Querschnitt Natursteinschale
- Bohrlochprofil: 14 cm
Bohrkern : 6 cm

Dokumentation der Endoskopiebohrung 10

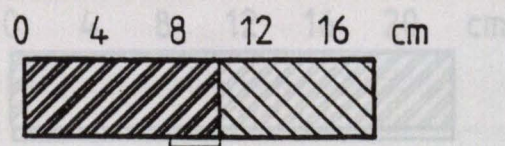
Bohrlochansicht



Bohrkern



Bohrlochprofil



Endoskopiebefund

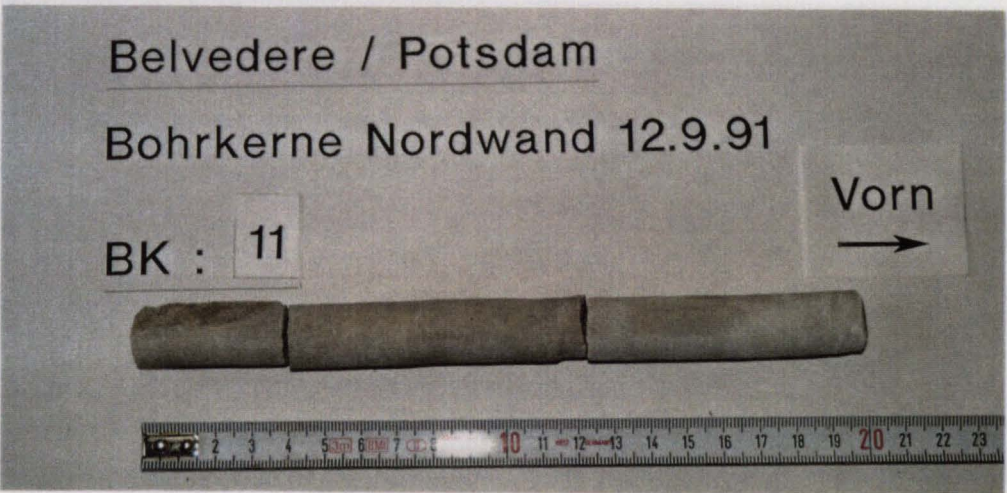
- kein Fugenverstrich, Preßfuge
 - Fuge vollflächig vermörtelt
 - Mittragender Querschnitt Natursteinschale
- Bohrlochprofil: 10 cm
Bohrkern : 12 cm

Dokumentation der Endoskopiebohrung 11

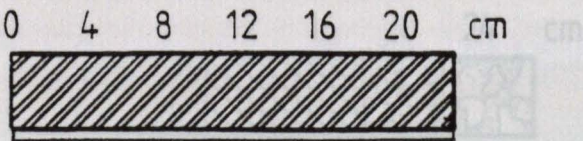
Bohrlochansicht



Bohrkern



Bohrlochprofil

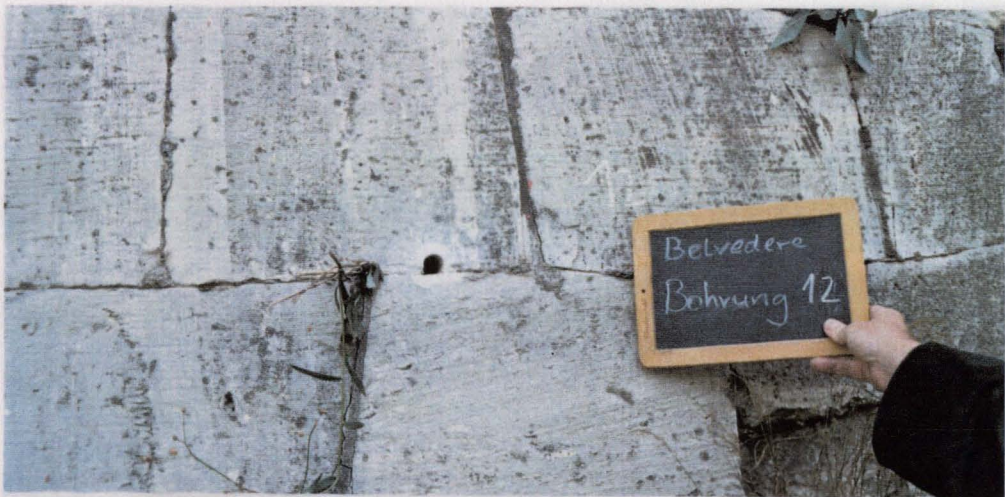


Endoskopiebefund

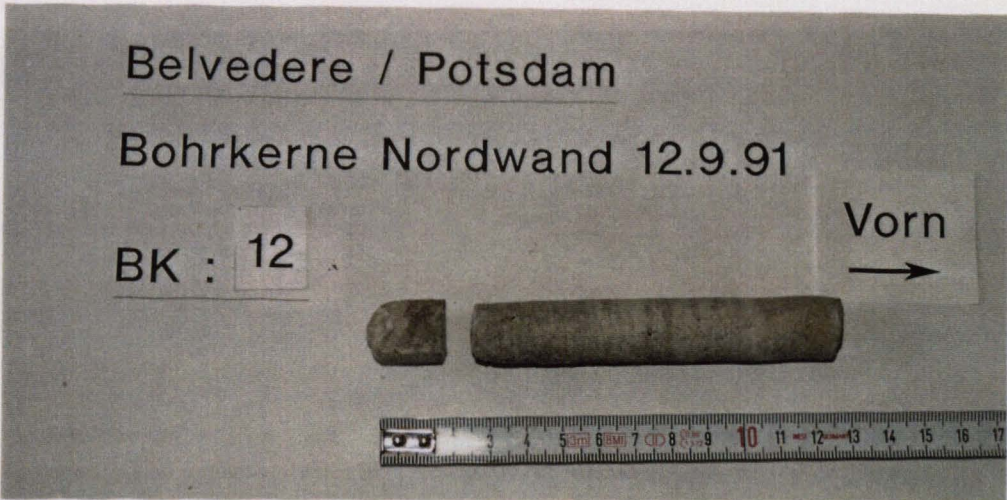
- Bohrung im Naturstein
- Ziegel angebohrt
- Mittragender Querschnitt Natursteinschale
- Bohrlochprofil: -
- Bohrkern : 20 cm
- Bohrkern : 12 cm

Dokumentation der Endoskopiebohrung 12

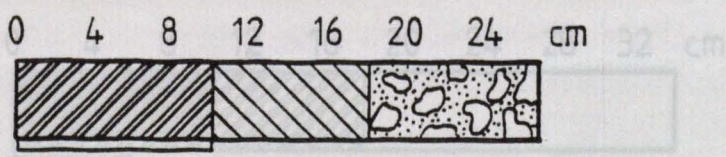
Bohrlochansicht



Bohrkern



Bohrlochprofil



Endoskopiebefund

- Fugenverstrich mit Zementmörtel
 - Fuge teilweise hohl, Wurzeln
 - Innenschalenmörtel durchfeuchtet
 - Mittragender Querschnitt Natursteinschale
- Bohrlochprofil: 10 cm
Bohrkern : 12 cm
Bohrkern : 7 cm

Dokumentation der Endoskopiebohrung 13

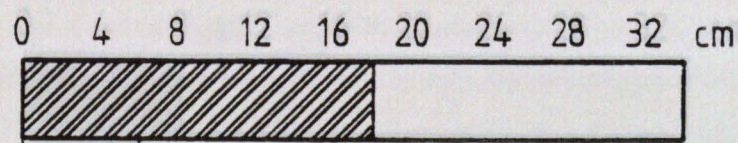
Bohrlochansicht



Bohrkern



Bohrlochprofil



Endoskopiebefund

- Fugenverstrich mit Zementmörtel
- Fuge teilweise hohl
- Hohlraum 16 cm hinter Natursteinschale
- Innenschalenmörtel hinten durchfeuchtet
- Mittragender Querschnitt Natursteinschale

Bohrlochprofil: 18 cm

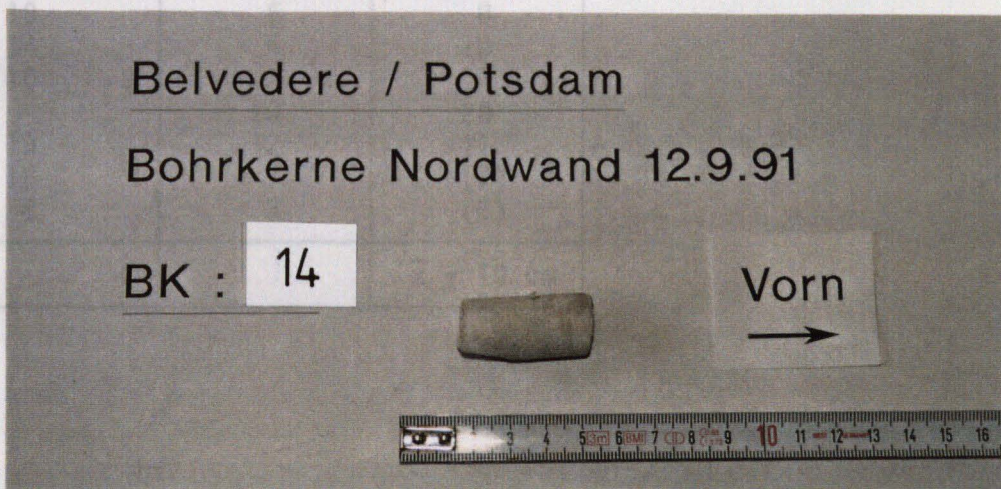
Bohrkern : 7 cm

Dokumentation der Endoskopiebohrung 14

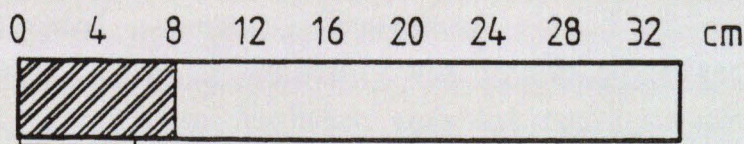
Bohrlochansicht



Bohrkern



Bohrlochprofil



Endoskopiebefund

- Fugenverstrich mit Zementmörtel
 - Hohlraum 26 cm hinter Natursteinschale
 - Innenschalenmörtel hinten durchfeuchtet
 - Mittragender Querschnitt Natursteinschale
- Bohrlochprofil: 8 cm
Bohrkern : 3 cm

Dokumentation Endoskopiebohrungen

Auswertung: Mittragender Querschnitt der Natursteinschale

Bohrloch	Bohrlochprofil Tiefe [cm]	Bohrkern Länge [cm]	Mittelwert
1	13	10	11
2	14	10	12
3	-	6	6
4	16	6	11
5	11	6	8
6	12	8	10
7	12	9	10
8	10	6	8
9	14	6	10
10	10	12	11
11	-	20	20
12	10	12	11
13	18	7	(7)
14	8	3	(8)
			$\bar{x} = 10 \text{ cm}$

Dokumentation der Bohrkerne: Bk I

Übersicht Bohrkerne/DruckfestigkeitsprobenEntnahmestelle

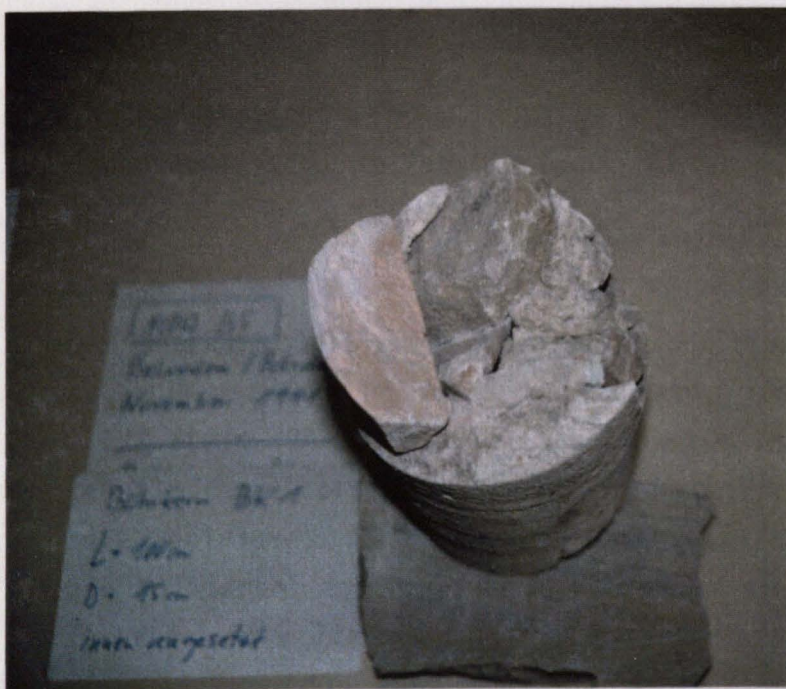
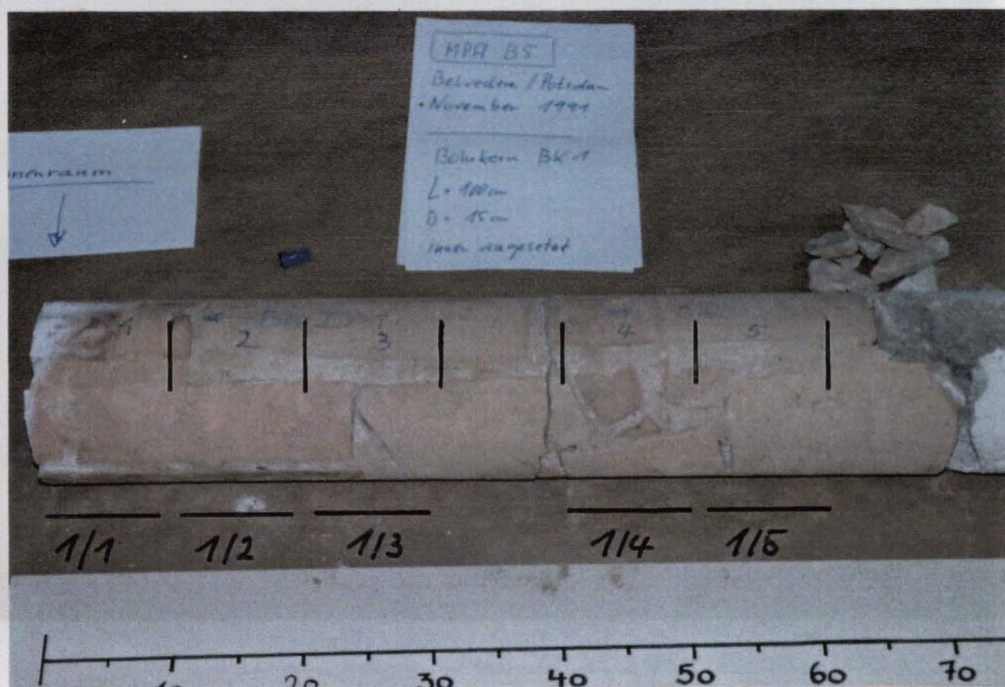
Innenraumseitig, normal zur Wandoberfläche, hinter Wandausbruch, im Ziegelbereich (siehe Bild 7, 18)

Befund

Der Bohrkern Bk I wurde in drei Abschnitten erbohrt, die Gesamtlänge beträgt ca. 100 cm. Das im Verband gemauerte, innenraumseitige Ziegelmauerwerk ist 1 1/2 Stein (36 cm) stark. In einer Wandtiefe von 36 bis 65 cm ist regelloses Ziegelmauerwerk festzustellen (ohne Verband, aber vollfugig vermörtelt und in den Ziegelverband einbindend). Es schließt sich ein ca. 30 cm breiter Wandbereich an, der in Naturstein (Kalkstein) gemauert ist. Die Lagerfuge ist ausgewittert, der Kalkstein bindet in das regellose Ziegelmauerwerk ein. In einer Tiefe von 100 cm wurde, anschließend an den Naturstein, ein Ziegel angebohrt. Der in dieser Tiefe erbohrte Mörtel unterscheidet sich deutlich vom Mörtel der Ziegelschalen.

Dokumentation der Bohrkern: Bk I

Zuordnung Bohrkern/Druckfestigkeitsproben



Bohrkern

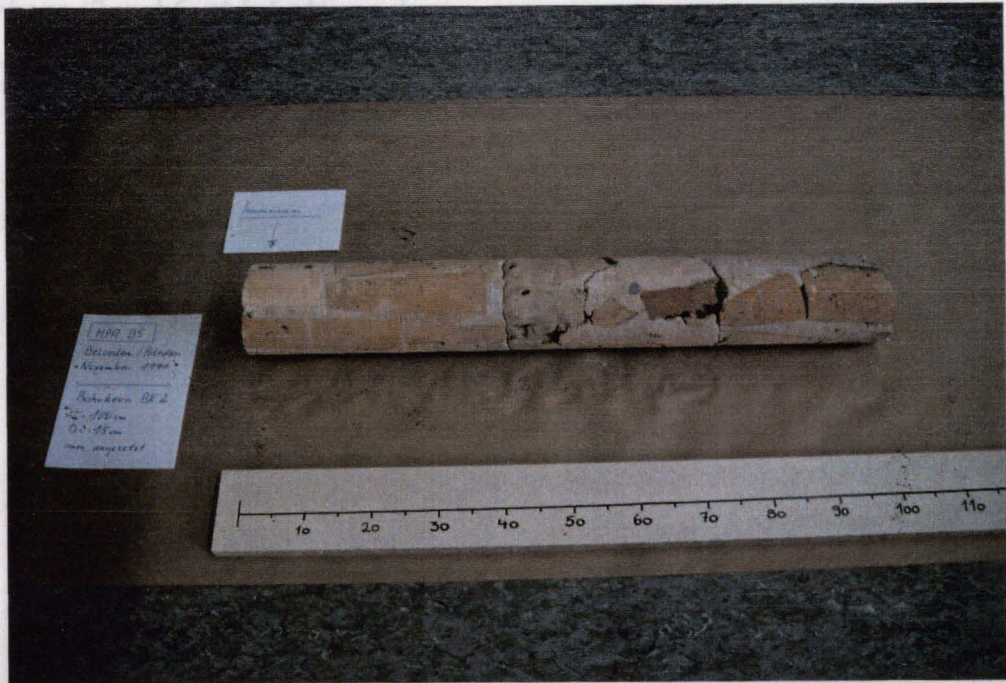
Tiefe 100 cm: Ziegel angebohrt,
Mörtelansatz

Bohrloch

Tiefe 100 cm: Ziegel ausgebohrt
Tiefe 80 cm: Hohlraum

Dokumentation der Bohrkerne: Bk II

Übersicht



Entnahmestelle

Innenraumseitig, in Fensternische hinter ausgebeultem Wandbereich (siehe Bild 18)

Befund

Der Bohrkern BKII wurde in drei Abschnitten erbohrt, die Gesamtlänge beträgt ca. 100 cm. Das im Verband gemauerte, innenraumseitige Ziegelmauerwerk ist 1 1/2 Stein (36 cm) stark. Es schließt sich ein 60 cm breiter Wandbereich an, der als regelloses Ziegelmauerwerk ausgeführt ist (vollfugig vermörtelt, kleinere Hohlräume). Es wurde kein Naturstein erbohrt, als Mörtel wurde durchgängig Kalkmörtel erbohrt. Mörtelübergänge sind nicht feststellbar. Im Bohrloch steht in einer Tiefe von 100 cm Naturstein an.

Bohrloch

Tiefe 100 cm: Naturstein

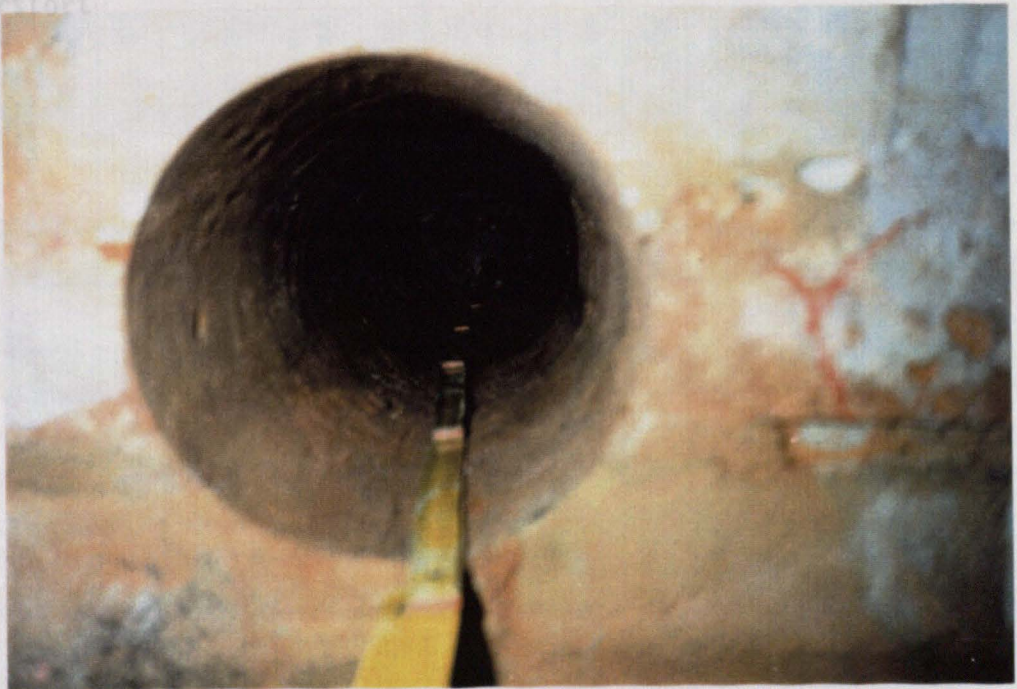
Dokumentation der Bohrkerne: Bk II

Druckfestigkeit und Rohdichte des Ziegelmauerwerks

Zuordnung Bohrkern/Druckfestigkeitsproben



* beim Sägen zerstört



Bohrloch

Tiefe 100 cm: Naturstein

Druckfestigkeit und Rohdichte des Ziegelmauerwerks

Bohrkern	Probe	Stein Mörtel	Verband	Rohdichte	Druckfestigkeit
Bk I	1/1	Ziegel/Kalk	regelmäßig	- *	- *
	1/2	Ziegel/Kalk	regelmäßig	1,80	13,5
	1/3	Ziegel/Kalk	regelmäßig	1,75	11,8
	1/4	Ziegel/Kalk	ohne	1,66	10,7
	1/5	Ziegel/Kalk	ohne	1,64	6,4
Bk II	2/1	Ziegel/Kalk	regelmäßig	1,81	9,2
	2/2	Ziegel/Kalk	regelmäßig	1,87	8,7
	2/3	Ziegel/Kalk	regelmäßig	1,87	5,5
	2/4	Ziegel/Kalk	regelmäßig	1,66	7,3
	2/5	Ziegel/Kalk	ohne	1,66	8,5
	2/6	Ziegel/Kalk	ohne	1,67	7,2
	2/7	Ziegel/Kalk	ohne	- *	- *
	2/8	Ziegel/Kalk	ohne	1,69	5,0
Mittelwert \bar{x}				1,73	8,5
Maße: ca. 100 x 100 x 100 mm				[kg/dm ³]	[N/mm ²]

* beim Sägen zerstört

Naßchemische Analyse des Innenschalenmörtels

	Proben aus Endoskopie-Bohrlöchern						Probe aus Wandausbruch	
	Probe 1		Probe 2		Probe 3		Probe 4	
	Bohrloch 5		Bohrloch 8		Bohrloch 13		Ziegelbereich	
Glühverlust 1000 °C	7,75	Lösliches, glühverlustfrei Gew.-%	4,09	Lösliches, glühverlustfrei Gew.-%	7,99	Lösliches, glühverlustfrei Gew.-%	6,18	Lösliches, glühverlustfrei Gew.-%
Salzsäureunlösliches	81,77		90,97		80,20		84,62	
lös. Kieselsäure (SiO ₂)	0,63	5,77	0,30	5,45	0,92	7,68	0,68	6,96
Eisen (Fe ₂ O ₃)	0,44	4,03	0,40	7,27	0,58	4,84	0,38	3,89
Aluminium (Al ₂ O ₃)	0,27	2,47	0,26	4,73	0,41	3,42	0,26	2,66
Titan (TiO ₂)	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Calcium (CaO)	9,12	83,52	4,38	79,64	9,88	83,47	8,13	83,21
Magnesium (MgO)	0,16	1,46	0,09	1,64	0,11	0,92	0,09	0,92
Sulfat (SO ₃)	0,30	2,75	0,07	1,27	0,08	0,67	0,23	2,36

Röntgenfeinstrukturanalyse: Beugungsdiagramm

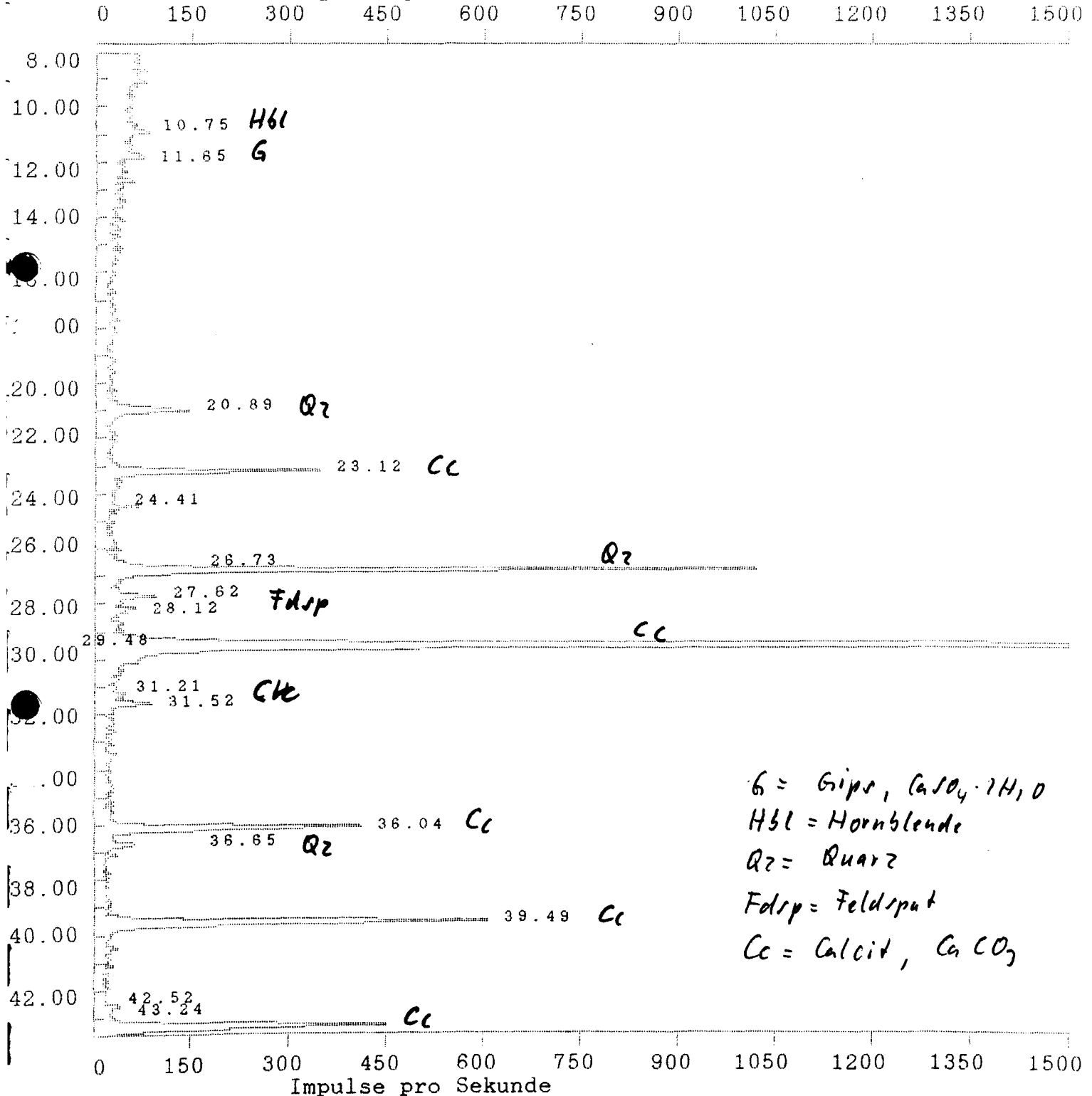
Meßtitel: Pots91-1

Antragsteller:

Projekt : Schoß Bevedere Postdam

Probe 5 : Innenschichten nördl. aus Wand ausbruch
Ziegelbereich

Impulse pro Sekunde



G = Gips, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
Hbl = Hornblende
Qz = Quarz
Fdsp = Feldspat
Cc = Calcit, CaCO_3

Startbeginn : 8.00 Grad 2θ Dämpfung : 2.00
Plotende : 44.05 Grad 2θ Reflexmarkierung : 2 Theta-Wert
Ankelmarken : 1.00 Grad 2θ Art : Schwerpunkt
Büervorschub : 2.00 Grad pro cm Datum der Messung : 14.11.1991

Röntgenfeinstrukturanalyse: Beugungsdiagramm

Meßtittel: Pots91-2

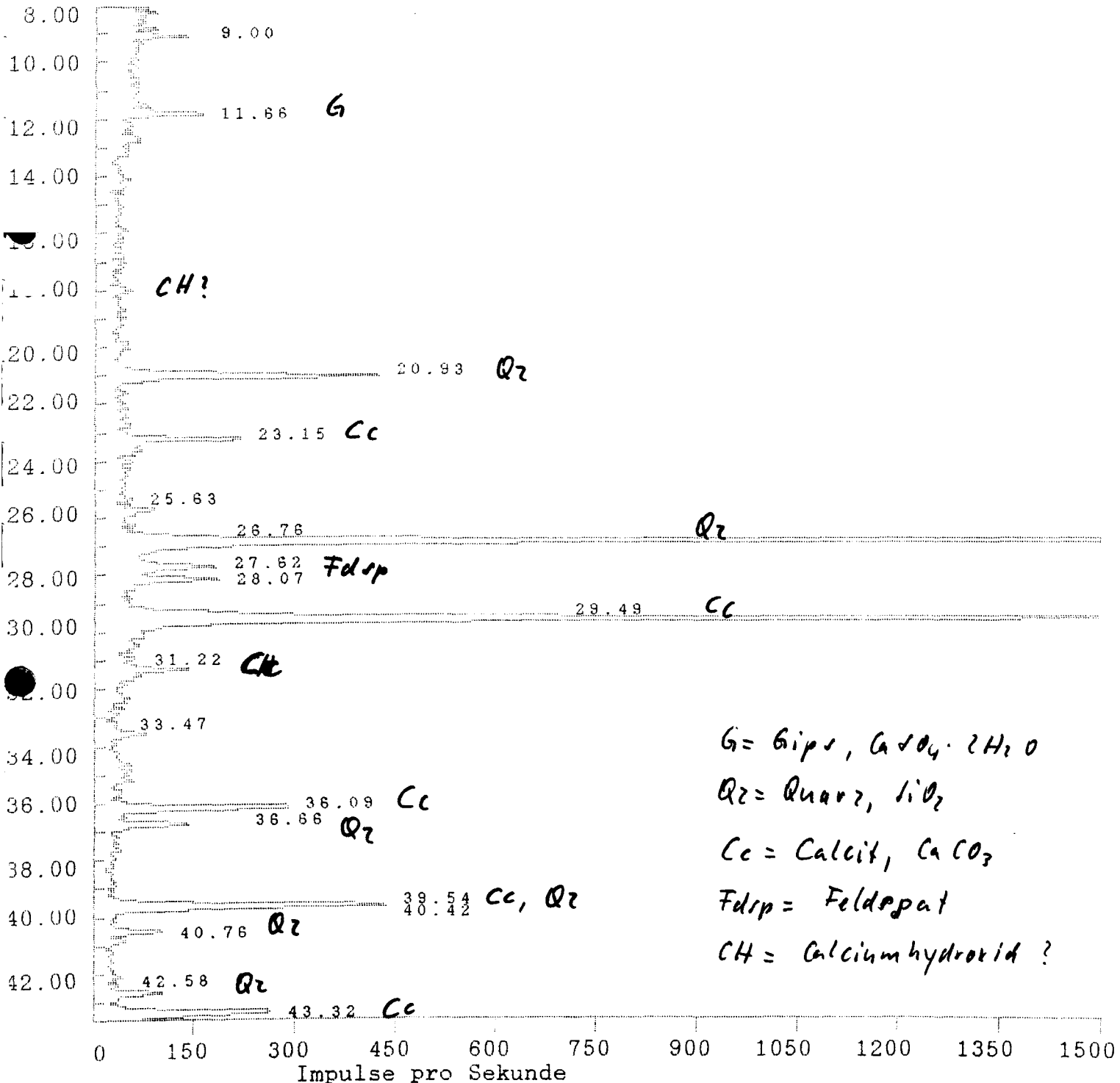
Antragsteller: BMFT

Projekt : Schloß Bevedere in Potsdam

Probe 6 : Innenschalenmörtel aus Wand ausbruch
Natursteinbereich

Impulse pro Sekunde

0 150 300 450 600 750 900 1050 1200 1350 1500

G = Gips, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ Qz = Quarz, SiO_2 Cc = Calcit, CaCO_3

Fdsp = Feldspat

CH = Calciumhydroxid?

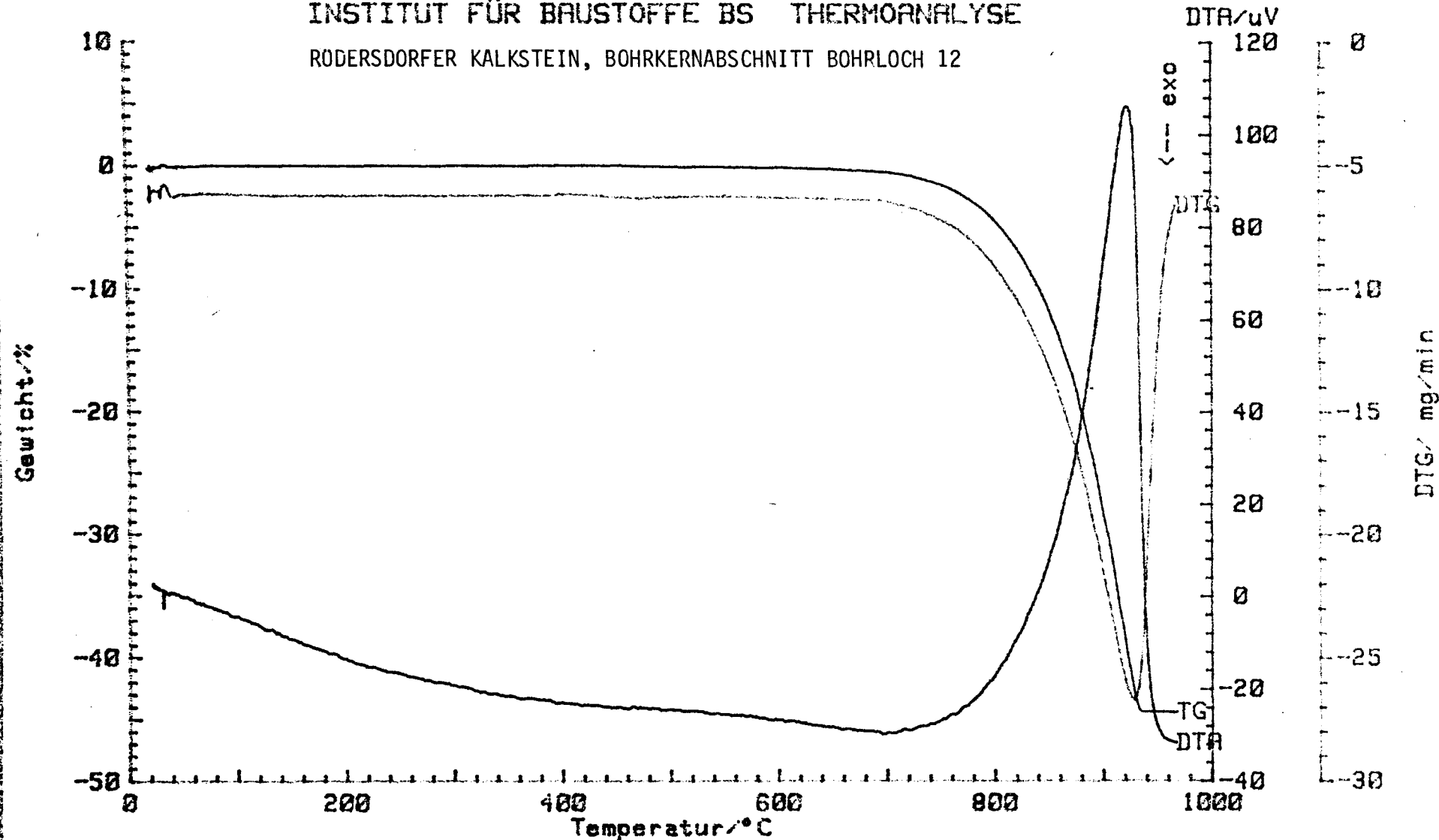
Notbeginn	: 8.00 Grad 2θ	Dämpfung	: 2.00
Plotende	: 44.05 Grad 2θ	Reflexmarkierung	: 2 Theta-Wert
Winkelmarken	: 1.00 Grad 2θ	Art	: Schwerpunkt
Winkelvorschub	: 2.00 Grad pro cm	Datum der Messung	: 14.11.1991

Ermittlung der Rohdichte und der Druckfestigkeit des Natursteins

Naturstein, aus Verband entnommen (Probe 7)			Natursteinprobe, aus Bohr- kern für Endoskopiebohrung	
Maße: ca. 50 x 50 x 50 mm			Maße: ø 25 mm	
Probe	Rohdichte	Druckfestigkeit	Bohrkern	Rohdichte
-	[kg/dm ³]	[N/mm ²]	-	[kg/dm ³]
7.1	2,03	25,8	2.1	2,41
7.2	2,04	30,9	2.2	2,67
7.3	2,08	17,3	6	2,61
7.4	2,04	31,9	9.1	2,47
7.5	2,08	34,4	9.2	2,35
7.6	1,95	31,9	11.1	2,57
7.7	2,01	28,4	11.2	2,53
7.8	2,07	34,1	11.3	2,67
7.9	1,95	19,2	12	2,57
7.10	2,01	35,8	13	2,27
7.11	1,99	34,7		
7.12	2,04	27,1		
7.13	2,03	38,9		
7.14	2,06	32,6		
7.15	1,98	32,1		
7.16	2,04	36,6		
7.17	2,05	30,3		
7.18	1,96	29,9		
7.19	2,07	32,8		
7.20	1,94	29,5		
7.21	2,01	34,6		
7.22	2,03	34,7		
\overline{x}	2,02	31,0		2,51

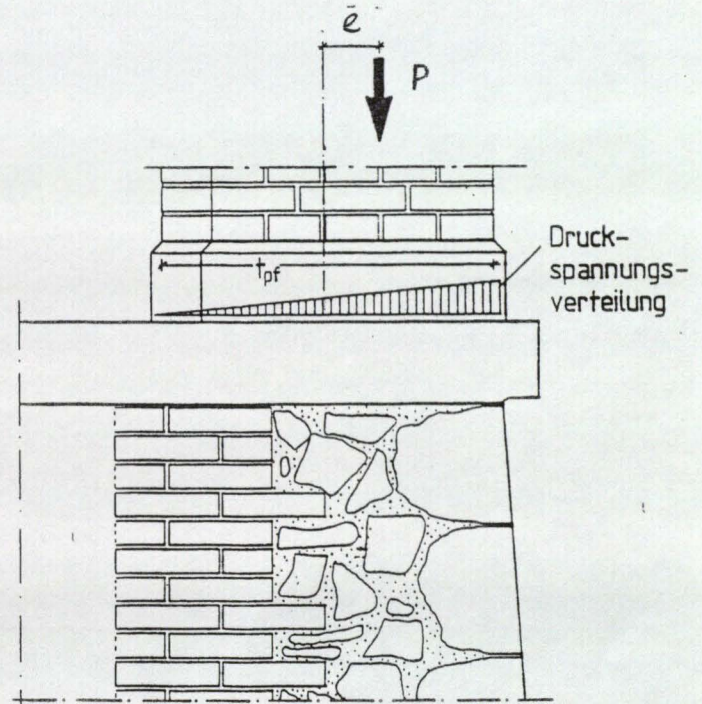
INSTITUT FÜR BAUSTOFFE BS THERMOANALYSE

RÖDERSDORFER KALKSTEIN, BOHRKERNABSCHNITT BOHRLOCH 12



VERSUCHSNR.	244 M4	PROBE	N - STEIN 12	150.00 mg	TG	250 mg	--
DATUM	6 Nov 1991	REFERENZ	AL203	150.00 mg	DTA	50 uV	--
OPERATEUR	FRESE	ATMOSPHERE	OFENLUFT / ---		DTG	5000 uV	
N E T Z S C H	STR 409	TIEGEL	AL203		Seg. 1: 20°C/10.00/1000 °C		

Abschätzung der Auflast der Natursteinschale



Auflast aus: MW-Pfeiler ~ 40 kN
 Außenwand ~ 75 kN
 Gewölbebogen ~ 35 kN
 Gewölbe ~ 60 kN
 Auffüllung ~ 100 kN
 P ~ 310 kN

Angenommene Außenmitte: $e = d/6$

Auflast Natursteinschale:

$$P' = 3/4 \cdot 310 = 232,5 \text{ kN}$$

Pfeilerabstand: $a = 3,25 \text{ m}$

Belastung Natursteinschale:

$$p = 71,5 \text{ kN/m}$$

$$g = 26,5 \text{ kN/m}$$

$$q = 98,0 \text{ kN/m}$$

Eigengewicht: Natursteinschale $\gamma = 25 \text{ kN/m}^2$

halbe Wandhöhe ~ 4,25 m

mittlere Dicke ~ 0,25 m

$$g = 26,5 \text{ kN/m}$$

Vorhandene Spannung Natursteinschale: mittragende Dicke ~ 0,10 m

$$\text{vorh } \sigma = 0,98 \text{ MN/m}^2$$

Zum Vergleich: Zulässige Spannung nach DIN 1053 Teil 1 für Quadermauerwerk aus Werksteinen mit $\beta_{St} = 20 \text{ MN/m}^2$ und Mörtel M I
 zul $\sigma = 1,2 \text{ MN/m}^2$